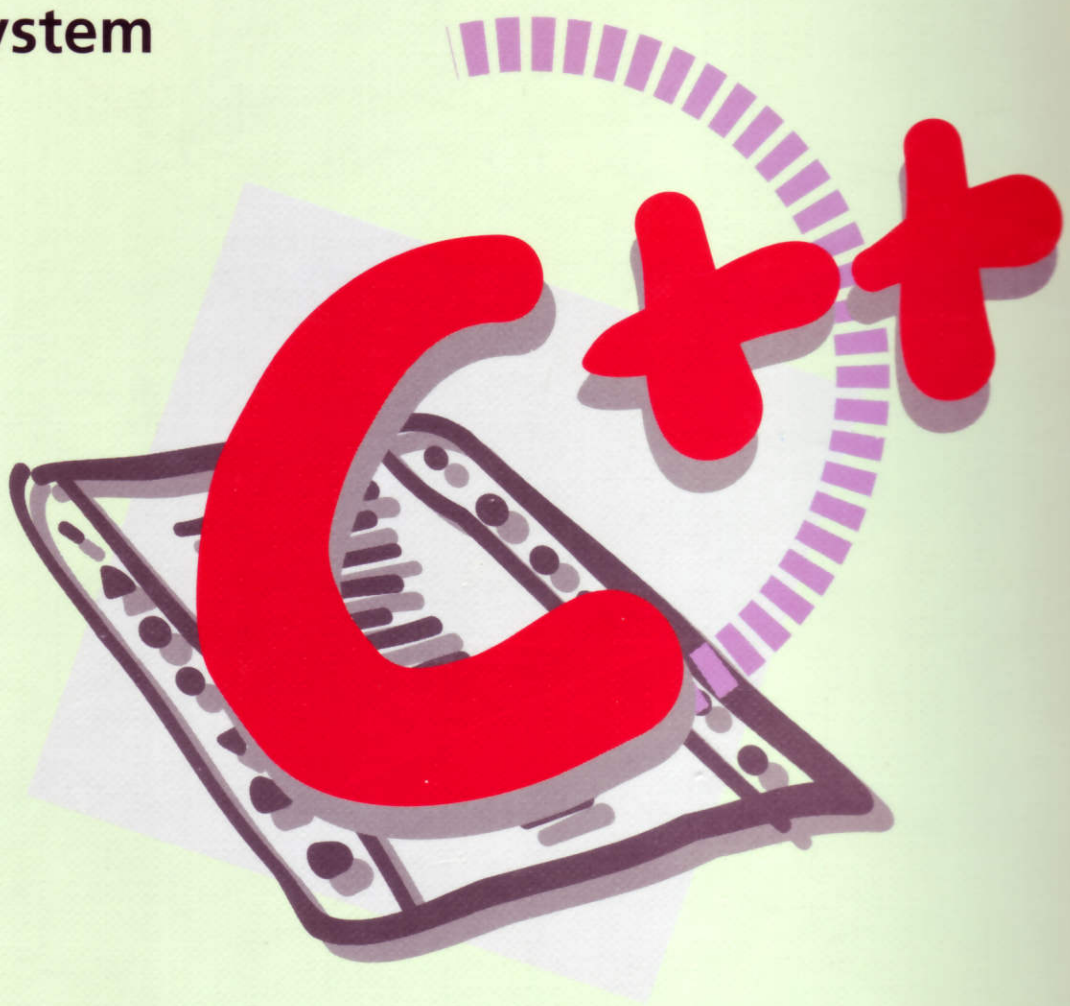
Maxon C++ 3

Integriertes Compilersystem



AMIGA®

MAXON computer

AMIGA

MaxonC++

Tutorial

MAXON
computer

Tutorial

Einführung in C++ 203
Ein paar kurze Bemerkungen, bevor es los geht 203

1. Der Einstieg 204
1.1 Ein erstes Beispiel 204
1.2 Lexikalisches 206
1.3 Zahlen, Variablen und Berechnungen 208
1.4 Numerische Datentypen und Operatoren 210
1.4.1 Ganzzahlige Datentypen 210
1.4.2 Literale für ganze Zahlen und Zeichenketten 212
1.4.3 Ganzzahlige Operatoren und Berechnungen 214
1.4.3.1 Allgemeines 214
1.4.3.2 Postfix-Operatoren 215
1.4.3.3 Unäre Operatoren 215
1.4.3.4 Multiplikative Operatoren 217
1.4.3.5 Addition und Subtraktion 218
1.4.3.6 Shift-Operatoren>> 218
1.4.3.7 Vergleiche 220
1.4.3.8 Bitweise Verknüpfungen 221
1.4.3.9 Logische Operatoren 221
1.4.3.10 Der bedingte Ausdruck 222
1.4.3.11 Zuweisungen 223
1.4.3.12 Der Komma-Operator 224
1.4.4 Fließkommatypen 224
1.4.4.1 Literale und Typen 224
1.4.4.2 Interne Darstellung der Daten 225
1.4.4.2 Fließkommaoperationen 226
1.4.5 Auswertung von Ausdrücken 226
1.4.6 Explizite Typumwandlungen 228
1.4.7 Initialisierungen 229
1.5 Anweisungen 230
1.5.1 Bedingungen und Verzweigungen 230
1.5.2 Anweisungen, Deklarationen und Blöcke 232
1.5.3 Schleifen 235
1.5.3.1 Die „while"-Anweisung 235
1.5.3.2 Die „for"-Schleife 236

1.5.3.3 Die „do"-Schleife 237
1.5.4 Sprünge 238
1.5.4.1 Sinn und Unsinn von „goto" 238
1.5.4.2 „break" und „continue" 240
1.5.5 Vielfachverzweigungen 242
1.5.6 Die „return"-Anweisung 244
1.6 Funktionen 244
1.6.1 „main" allein genügt nicht 244
1.6.2 Parameter und Argumente 245
1.6.3 Rückgabe von Werten 247
1.6.4 Funktionen und Gültigkeitsbereiche 249
1.6.4.1 Deklarationen auf Dateiebene 249
1.6.4.2 Rekursive Funktionen 251
1.6.4.3 Deklarationen und Definitionen 251
1.6.5 Überladen, Default-Parameter und mehr 253
1.6.5.1 Überladen von Funktionen 253
1.6.5.2 Abkürzen durch Default-Argumente 255
1.6.5.3 Variable Parameterlisten 257
1.6.6 Anachronismen aus der Mottenkiste 258
1.6.6.1 Umschalten in den C-Modus 258
1.6.6.2 Parameterlisten im alten Stil 259
1.6.6.3 Von der Steinzeit in die ANSI-Ära 260
1.6.7 Einige Standardfunktionen 261
1.6.7.1 Allgemeines 261
1.6.7.2 Ein- und Ausgabe: <stdio.h> 262
1.6.7.3 Zeichen, Zeichenketten und Bytefolgen: 262
1.6.7.4 Fließkommafunktionen: <math.h> 263
1.6.7.5 Die C-Fundgrube: <stdlib.h> 263

2. Datentypen und Deklarationen 265
2.1 Vektoren, Zeiger und Referenzen 265
2.1.1 Pointer 265
2.1.1.1 Von Objekten und Adressen 265
2.1.1.2 Zeiger: Deklaration und elementare Operationen 265
2.1.1.3 Zeiger als Funktionsparameter 267
2.1.1.4 Zeigertypen 268
2.1.1.5 Was man sonst noch so mit Zeigern machen kann 270
2.1.2 Vektoren 271
2.1.2.1 Das Vektor-Konzept in C 271
2.1.2.2 Zeiger und Vektoren 272

2.1.2.3 Genaueres über Vektordeklarationen 275
2.1.2.4 Vektoren als Parameter 277
2.1.2.5 Strings 278
2.1.2.6 Initialisierung von Vektoren 286
2.1.3 Referenzen 288
2.1.3.1 Einführung 288
2.1.3.2 „VAR-Parameter" und temporäre Objekte 289
2.1.3.3 Weitere Möglichkeiten und Einschränkungen 291
2.2 Qualifizierungen, Deklarationen und Spezifikationen 292
2.2.1 Speicherklassen 292
2.2.1.1 Automatische und statische Daten 292
2.2.1.2 Module und ihre Gültigkeitsbereiche 294
2.2.1.3 Daten in Registern 301
2.2.1.4 Daten im CHIP-RAM 303
2.2.2 Typdefinitionen 304
2.2.3 Konstante Daten auf der Flucht 305
2.2.3.1 Die „const"-Qualifizierung 305
2.2.3.2 Flüchtige Daten: „volatile" 308
2.2.4 Inline-Funktionen 309
2.3 Zeiger auf Funktionen 311
2.3.1 Wohin zeigen Zeiger auf Funktionen? 311
2.3.2 Anmerkungen zu Syntax und anderen Details 312
2.3.3 Zeiger auf Überladene Funktionen 313
2.3.4 Eine Anwendung: „qsort" und „bsearch" 314
2.4 Aufzählungen 316
2.4.1 Deklaration 316
2.4.2 Typnamen und Typlabel 318
2.4.3 Aufzählungen und Zahlen 319
2.5 Strukturen 321
2.5.1 Grundlagen 321
2.5.2 Definitionen und Deklarationen 323
2.5.3 Initialisierung 325
2.5.4 Gültigkeitsbereiche und Scope-Regeln 326
2.5.5 Unionen 328
2.5.6 Bitfelder 332
2.6 Dynamisch organisierte Datenstrukturen 333
2.6.1 Die Idee 333
2.6.2 „new" und „delete" 334

2.6.3 Dynamisch erzeugte Vektoren 335
2.6.4 Initialisierungen 336
2.6.5 „malloc" und andere Antiquitäten 337
2.6.6 Beispielprogramm: Eine Liste von Daten 339
2.6.6.1 Das Problem: Ein wirrer Haufen von Daten 339
2.6.6.2 Die Lösung: Eine doppelt verkettete Liste 341
2.6.6.3 Initialisieren und Einfügen 343
2.6.6.4 Suchen und Löschen 346
2.6.6.5 Das Programm an einem Stück 348

3. Objektorientiertes Programmieren 353

3.1 Klassen und Objekte 353
3.1.1 Keine Panik! 353
3.1.2 Member-Funktionen 355
3.1.2.1 Erste Beispiele 355
3.14.2.2 Member-Funktionen (Methoden) und konstante Objekte 357
3.1.2.3 Inlining von Member-Funktionen 357
3.1.3 Klassen und Zugriffsrechte 358
3.1.4 No Scope, no hope! 360
3.1.5 Friends 362
3.1.6 Statische Member 364

3.2 Vererbungslehre 366
3.2.1 Abgeleitete Klassen 366
3.2.1.1 Ein erstes Beispiel 366
3.2.1.2 Mehrfach-Vererbung und andere Features 369
3.2.1.3 Vererbung und Typregeln 371
3.2.2 Scoperegeln und Zugriffskontrolle bei Vererbung 373
3.2.2.1 Noch mehr Details 373
3.2.2.2 Der Zugriffsmodus „protected" 374
3.2.2.3 Zugriffs-Deklarationen 375
3.2.3 Virtuelle Member-Funktionen 377
3.2.3.1 Ein Beispiel 377
3.2.3.2 Die Details 379
3.2.3.3 Abstrakte Klassen 381
3.2.4 Ein paar Anmerkungen zur Implementation 382
3.2.5 Virtuelle Basisklassen 385

3.3 Konstruktoren und Destruktoren 393
3.3.1 Initialisierung von Klassen 393
3.3.2 Konstruktoren mit Argumenten 394

3.3.3 Initialisierung von Basisklassen und Membern 396
3.3.4 Besondere Konstruktoren 400
3.3.4.1 Default-Konstruktoren 400
3.3.4.2 Kopier-Konstruktoren 401
3.3.5 Destruktoren 403
3.4 Beispielprogramm: 406
3.5 Noch mehr Features 420
3.5.1 Zeiger auf Member 420
3.5.2 Konvertierungsfuntionen 423
3.5.3 Temporäre Objekte 426
4. Überladen 429
4.1 Überladene Funktionen 429
4.1.1 Was man darf, und was nicht 429
4.1.2 Was der Compiler davon hält 430
4.1.2.1 Die Hierarchie der Typwandlungen 430
4.1.2.2 Matching von Funktionsargumenten 435
4.2 Operatoren 437
4.2.1 Allgemeine Operatoren 437
4.2.1.1 Allgemeines über allgemeine Operatoren 437
4.2.1.2 Wie man so etwas deklariert 439
4.2.1.3 Und wie man es benutzt 440
4.2.2 Spezielle Operatoren 441
4.2.2.1 Der Zuweisungs-Operator „=“ 441
4.2.2.2 „new“ und „delete“ 443
4.2.2.3 Funktionsaufruf als Operator 450
4.2.2.4 Klassen als Möchtegern-Vektoren 451
4.2.2.5 Intelligente Zeiger: "->" und das unäre ""* 453
4.2.2.6 Inkrement und Dekrement 454
4.2.2.7 Ein- und Ausgabe 456
4.2.3 Beispielprogramm: Die „string“-Bibliothek 457
5. Der Preprozessor 465
5.1 Allgemeines 465
5.2 Was Sie schon immer über #define wissen wollten 466
5.2.1 Makrodefinition 466
5.2.2 Makros mit Parametern 469
5.3 Was Sie noch nie über #include wissen wollten 470

5.4 Bedingte Übersetzung 471
5.5 Pragmatismus 473
5.5.1 Allgemeines und Wiederholungen 473
5.5.2 Breakpoint-Kontrolle 474
5.5.3 Amiga-spezifische Systemaufrufe 475
5.6 Noch mehr Features 476
5.6.1 Verbinden von Zeilen 477
5.6.2 Verbinden konstanter Zeichenketten 477
5.6.3 Trigraph-Sequenzen 477
5.6.4 Hausgemachte Fehlermeldungen 479
5.6.5 Getürkte Dateinamen und Zeilennummern 479
5.6.6 Nix dahinter 480
5.7 Vordefinierte Symbole 480
5.8 Arbeitsweise des Preprozessors 482

6. Was Sie als Amiga-Entwickler wissen sollten 485
6.1 Die Schnittstelle zum Betriebssystem 485
6.2 Start von der Workbench 485
6.2.1 Die Do-It-Yourself-Methode: die Funktion "wbmain" 485
6.2.2 Die einfache Methode: die Datei "wbstartup.h" 488

7. Templates 491
7.1 Einführung 491
7.2 Klassen-Templates 491
7.2.1 Ein einfaches Beispiel 491
7.2.2 Deklarationen und Definitionen 493
7.2.3 Member-Funktionen 495
7.2.4 Statische Member 496
7.2.5 Friends 497
7.3 Funktions-Templates 498
7.3.1 Beispiel: Sortieren von Vektoren 498
7.3.2 Deklaration und Definition 499
7.3.3 Handgestrickt kontra compilergeneriert 499
7.3.4 Argumemt-Matching beim Aufruf von Templatefunktionen 501
7.3.4.1 Benutzung von Funktionstemplates 501
7.3.4.2 Mischung von Funktiontemplates und "echten" Funktionen 502

7.3.5 Generierung von Templatefunktionen 503
7.4 Beispielprogramm: Schon wieder verkettete Listen 504

8. Ausnahmebehandlung 509
8.1 Worum gehts? 509
8.2 Vom Werfen und Auffangen 510
8.3 Von Ausnahmen und ihren Typen 512
8.4 Vom Fangen und wieder Wegwerfen 515
8.5 Von Konstruktoren und Destruktoren 517
8.6 Von erwarteten und unerwarteten Ausnahmen 520
8.7 Beispielprogramm: Das Übliche 523

Referenz 525

1. Die ANSI C Includedateien 527

1.1 Verschiedene nützliche Funktionen: <stdlib.h> 527
1.1.1 Umwandlung zwischen Zahlen und Strings 527
1.1.2 Mathematische Funktionen 529
1.1.3 Zufallszahlen 531
1.1.4 Speicherverwaltung, Typen und Zeiger 532
1.1.5 Programmende 534
1.1.6 Kommunikation mit dem Betriebssystem 535
1.1.7 Sortieren und Suchen 535

1.2 Ein- und Ausgaben: <stdio.h> 536
1.2.1 Typen, Objekte und Konstanten 536
1.2.2 Öffnen und Schließen von Dateien 538
1.2.3 Strings und Zeichenketten 540
1.2.4 Formatierte Ausgabe 542
1.2.5 Formatierte Eingabe 546
1.2.6 Dateioperationen 549
1.2.6.1 Datensatz- und Feldverarbeitung 549
1.2.6.2 Puffern 550
1.2.6.3 Externe Dateien 552
1.2.6.4 Binäre Daten 553
1.2.6.5 Positionieren in Dateien 554
1.2.7 Sonstige Funktionen 555

Einführung in C++

Ein paar kurze Bemerkungen, bevor es los geht

Dieses Buch soll eine Einführung in das Programmieren mit MaxonC++ darstellen. Es wäre sehr nützlich, wenn Sie bereits eine Programmiersprache beherrschen, und wenn es bloß AmigaBASIC ist. Sonst werde ich nichts als bekannt voraussetzen. Wenn Sie sogar schon C kennen, werden Sie den Anfang dieses Handbuchs wahrscheinlich nur überfliegen, denn C++ basiert auf C, und wir werden uns zunächst mit ziemlich elementaren Dingen beschäftigen, bei denen es kaum Unterschiede zwischen C und C++ gibt.

Damit wären wir auch schon bei einem kleinen Problem: Eigentlich ist dies eine Einführung in gleich drei Programmiersprachen: C, C++ und MaxonC++. Der Grund dafür liegt in dem Chaos, das es bei den diversen Sprachstandards gibt: Da wäre zum einen der ANSI-C-Standard, den MaxonC++ vollständig enthält. C++ ist von ANSI C abgeleitet (genaugenommen ist es noch etwas komplizierter: C++ entstand aus der „alten" C-Sprachdefinition und ANSI C enthält außer jenem Standard einige Features aus C++, was aber nichts an der Tatsache ändert, daß ANSI C im wesentlichen eine Untermenge von C++ ist). Einen verbindlichen ANSI-Standard für C++ gibt es derzeit noch nicht, nur den de-fakto-Standard, der vom C++-Erfinder Bjarne Stroustrup festgelegt wurde und auch „AT&T"-Standard genannt wird. Davon gibt es aber verschiedene Versionen, von denen eine als „AT&T 2.0" bzw. „2.1" (das ist im Prinzip dasselbe) bekannt ist. Darauf basiert MaxonC++.

Jeder Sprachstandard enthält Dinge, die implementationsabhängig sind, d. h. der Compilerbauer hat gewisse Freiheiten. Dies ist meist durch die verschiedenen Rechnerarchitekturen erforderlich. Deshalb muß dieses Handbuch auch Auskunft darüber geben, wie die jeweiligen Details in MaxonC++ implementiert sind. Außerdem hat MaxonC++, wie wohl jeder Compiler, kleinere Features, die über die Sprachdefinition hinausgehen. Auch diese müssen im Handbuch natürlich dokumentiert werden.

Wenn ich also im folgenden von „C" oder „ANSI C" spreche, so gilt das gesagte jeweils auch für C++ und somit für MaxonC++, sofern ich mich nicht ausdrücklich auf die Unterschiede zwischen diesen drei Programmiersprachen beziehe.

1. Der Einstieg

1.1 Ein erstes Beispiel

An dieser Stelle könnte ich viele Worte über das objektorientierte Programmieren und andere wichtige und nützliche Konzepte von C++ und die Vorzüge und die Leistungsfähigkeit dieser Programmiersprache im allgemeinen und von MaxonC++ im besonderen verlieren. Entweder wissen Sie schon, was „objektorientiert" heißt, und dann würden Sie diesen Abschnitt sowieso überlesen, oder Sie kennen es noch nicht, und dann würde ein allgemeiner Exkurs zu diesem Thema bei Ihnen erfahrungsgemäß doch eher Ratlosigkeit und Verwirrung als Klarheit und Erkenntnis schaffen.

Und so ziehe ich es vor, ohne weitere Vorrede gleich zur Einführung in die Programmiersprache C++ überzugehen, und verspreche Ihnen, Sie im folgenden mit Satzungetümen wie den obigen zu verschonen. Also gleich das erste Beispiel:

```
// Das unvermeidliche Hallo-Programm
#include <stream.h>

void main()
{ cout « "Hallo!";}
```

Am besten tippen Sie das Programm in Editor ab, starten den Compiler und lassen das Programm dann laufen, so wie es im ersten Teil dieses Handbuchs erklärt wurde. Dann sollte das Programm den Text **„Hallo!"** ausgeben.

Falls das Compilieren oder Linken nicht geklappt haben sollte, kann das unterschiedliche Ursachen haben. Zunächst könnte natürlich der Compiler einen Fehler melden, falls Sie das Programm nicht richtig abgetippt haben. Auch kann es sein, daß der Compiler die Includedatei *„stream.h"* nicht findet, weil Sie das C++-System nicht korrekt installiert haben, oder daß der Linker aus demselben Grund eine Library nicht finden kann. Dann sollten Sie sich den entsprechenden Abschnitt dieses Handbuchs noch einmal ansehen.

Nehmen wir also an, daß Sie das Prograämmchen zum Laufen gebracht haben. Was bedeutet das Ganze nun?

Die erste Zeile ist ein Kommentar. Der Compiler erkennt das an dem doppelten Slash `"//"` am Zeilenanfang. Ganz allgemein können Sie auch an jede Zeile eines C++-Programms auf diese Weise einen Kommentar anhängen. Der Compiler ignoriert diese Kommentare vollständig, sie dienen nur dazu, das Programm dem menschlichen Leser - also z. B. Ihnen - zu erläutern.

Es gibt noch eine andere Schreibweise für Kommentare, die eine Art Erbschaft von der Programmiersprache C ist:

```
/* Auch dies ist ein Kommentar. Er beginnt mit einem "/" und einem "*"
und kann sich dann über beliebig viele Zeilen  erstrecken. Beendet
wird er dann mit diesen beiden Zeichen: */
```

Diese Kommentare enden also nicht automatisch am Zeilenende, sondern werden mit der Zeichenfolge `"*/"` abgeschlossen. Sie sind eigentlich nur dann praktisch, wenn man einen längeren Text als Kommentar in den Programmtext setzen will. In der Praxis hat man es aber meist mit kürzeren Kommentaren zu tun, und da ist die `"//"`-Schreibweise einfach bequemer. Außerdem kann man daran auf den ersten Blick erkennen, daß man ein C++- und nicht etwa ein C-Programm vor sich hat. Selbst hartnäckige Gegner der objektorientierten Programmierung können nicht leugnen, daß diese Kommentare eine enorm sinnvolle Neuerung von C++ sind.

Die zweite Zeile beginnt mit einem `"#"`. Solche Zeilen werden genaugenommen nicht vom Compiler selbst, sondern vom sog. Preprozessor bearbeitet. Dieser Preprozessor ist ein Programm, durch das der Quelltext noch vor dem eigentlichen Compilieren läuft. Neben vielen anderen nützlichen Funktionen, auf die ich in Kapitel 5 eingehen werde, entfernt er Kommentare und führt Zeilen aus, die mit eben jenem `"#"` beginnen. Das Kommando `"include"` weist ihn an, an Stelle dieser Zeile den Inhalt einer Datei in den Quelltext einzufügen - hier ist es eine Datei namens *„stream.h"*.

Natürlich löscht der Preprozessor die Kommentare nicht wirklich aus ihrem Quelltext, und er fügt Include-Dateien auch nicht tatsächlich in den Sourcecode ein. Damit ist gemeint, daß er eine entsprechend modifizierte Kopie des Quelltexts erzeugt, die dann vom Compiler übersetzt wird. In Wirklichkeit wird in MaxonC++ gar keine echte Kopie angelegt (das würde nur Speicher verschwenden), aber lassen wir das und tun einfach so als ob.

Die Datei *„stream.h"* enthält einige Definitionen, die für die Ein- und Ausgabe nahezu unverzichtbar sind. Deshalb werden Sie diese Include-Datei wohl in den meisten Programmen verwenden.

Nach dem Kommentar für den Leser und der Preprozessor-Anweisung beginnt nun unser eigentliches Programm.

Die Zeile

```
void main()
```

bedeutet folgendes:

- Es wird eine Funktion definiert (gekennzeichnet durch das leere Klammerpaar `"()"`).
- Der Name dieser Funktion ist `"main"`. Das ist eine ganz besondere Funktion, die in keinem Programm fehlen darf: Sie stellt das Hauptprogramm dar.
- Die Funktion hat keinen Rückgabewert, bzw. einen Wert des leeren Typs `"void"`. Was das bedeutet, werden Sie bei passender Gelegenheit erfahren.

Als nächstes folgt der Inhalt oder „Rumpf" dieser Funktion. Er ist mit geschweiften Klammern `"{"` und `"}"` einzuschließen und enthält hier nur eine einzige Anweisung:

```
cout « "Hallo!";
```

Das Wort `"cout"` bezeichnet ein Datenobjekt, das in der Includedatei `"stream.h"` deklariert wird - deshalb brauchten wir also die `"#include"`-Zeile. Was ein Datenobjekt im allgemeinen ist

und wie das Objekt `"cout"` genau aussieht und ob ein Objekt wirklich irgendwie „aussieht" oder ob das nur so eine Redensart ist und viele Fragen mehr, möchte ich an dieser Stelle erst einmal zurückstellen. Sie sollten sich zunächst einmal damit begnügen, daß man in C++ mit einer Anweisung der Art

```
cout « Ausdruck;
```

einen Ausdruck auf den Bildschirm ausgibt, in unserem Fall war der Ausdruck der Text **"Hallo!"**. Jede Anweisung endet in C++ mit einem Semikolon.

1.2 Lexikalisches

An dieser Stelle sind noch einige ganz allgemeine Anmerkungen über die Gestalt von Programmen in C++ nötig:

Zunächst ist zu erwähnen, daß in C++ die Groß-/Kleinschreibung von Namen generell signifikant ist. Mit der Zeile

```
Void MAIN()
```

hätte der Compiler also nichts anfangen können. Hier unterscheidet sich C++ von Programmiersprachen wie Pascal oder dem allseits beliebten AmigaBasic.

Als Ausgleich für diese Pingeligkeit ist der Compiler aber in bezug auf die Textformatierung absolut tolerant. Es ist ihm ziemlich egal, wie Sie Ihr Programm in Zeilen aufteilen, wie weit Sie Zeilen einrücken, wo Sie Leerzeichen oder Kommentare einfügen usw. Unsere Funktion `"main"` hätten Sie also auch so schreiben können:

```
void main (
  ){/* Dies ist ein Kommentar */cout
 « /* */ "Hallo!" // Noch ein Kommentar
 ; } // Hier ist das Programm zuende. Grüße an Oma!
```

...oder so:

```
void main(){cout«"Hallo!";}
```

Für Menschen wie Sie und mich ist das natürlich nicht so besonders leserlich, aber der Compiler betrachtet ein Programm ausschließlich als eine Folge von Eingabesymbolen, deren textliche Anordnung keine Rolle spielt. Wichtig ist nur, daß er die Symbole voneinander trennen kann, z. B. ist deshalb eine Lücke zwischen `"void"` und `"main"` unentbehrlich. Im Gegensatz dazu achtet der Preprozessor durchaus auf die richtige Zeilenaufteilung: Eine Preprozessor-Anweisung beginnt stets mit einem `"#"`, das in der ersten Spalte einer Zeile stehen muß, und ist immer genau eine Zeile lang.

Da wir gerade beim Thema sind, können wir auch gleich die unterschiedlichen Symbole betrachten, aus denen sich ein Programm zusammensetzt.

Zunächst wären da die Wortsymbole. In unserem kleinen Beispielprogramm benutzen wir nur das Wortsymbol (oder Schlüsselwort) `"void"`. Eine vollständige Übersicht über alle Schlüsselwörter von C++ finden Sie im Anhang dieses Handbuchs.

Etwas scheinbar Ähnliches, aber in Wahrheit ganz anderes sind die Bezeichner (Identifier). Das sind vom Benutzer definiertbare Namen für Objekte, Funktionen, Datentypen und einiges mehr. Im *„Hallo"*- Programm benutzen wir den Bezeichner `"cout"`, der in `"stream.h"` deklariert wurde, und definieren selbst den Bezeichner `"main"` als Namen einer Funktion.

Ein Bezeichner ist eine beliebig lange Folge von Buchstaben, Ziffern und dem Unterstrich `"_"`. Es darf aber keine Ziffer am Anfang stehen. Gültige Bezeichner wären also z. B.

```
main
TeSt
Eumel26731
Dies_ist_ein_ziemlich_langer_Name
_1_
x
```

Außerdem gibt es diverse Literale, das sind Konstanten mit einem bestimmten Wert. Wir haben bisher nur eine Zeichenketten-Konstante benutzt, nämlich `"Hallo!"`. Eine solche Zeichenkette (String) wird mit doppelten Anführungszeichen eingeschlossen und kann beliebig viele Zeichen enthalten. Sie darf aber ein Zeilenende nicht überschreiten. Wenn man mehrere Zeichenketten hintereinander schreibt, hängt der Preprozessor sie aneinander, so daß die Anweisung

```
cout « "Dies" "sind" "mehrere Zeichenketten"".";
```

identisch mit

```
cout « "Diessindmehrere Zeichenketten.";
```

ist.

Man kann mit dem Backslash `"\"` besondere Zeichen in einen solchen String einschließen.

Hier sollen nur zwei erwähnt werden: Die Folge `"\n"` wird in einem String durch das Linefeed-Zeichen ersetzt, bewirkt also bei der Ausgabe einen Zeilenvorschub.

Ein Beispiel:

```
cout « "Life! Don't talk\nto me about life!";
```

gibt

Life! Don't talk
to me about life!

aus. Sie können doppelte Anführungszeichen in einen String einschließen, indem Sie einen Backslash voranstellen:

```
cout « "Written by Jens \"Himpelsoft\" Gelhar 1994.";
```

schreibt

Written by Jens "Himpelsoft" Gelhar 1994.

Außerdem gibt es noch etliche Literal-Schreibweisen für Zahlen, die wir im nächsten Kapitel kennenlernen werden.

Die vierte Kategorie von Eingabesymbolen sind die Sonderzeichen: Diverse eckige, runde und geschweifte Klammern, Operatoren wie z. B. `"«"`, Trenner wird das Semikolon `";"` oder das Komma `","` und einige andere, die wir noch kennenlernen werden. Auch dazu gibt es eine vollständige Übersicht im Anhang.

1.3 Zahlen, Variablen und Berechnungen

Nun können Sie also schon per Programm Texte ausgeben. Bekanntlich kann ein Computer aber wesentlich besser mit Zahlen umgehen, und genau darum soll es in diesem Kapitel gehen.

Außerdem benötigt man zum Programmieren auf jeden Fall Variablen. Eine Variable ist in C, genau wie in allen anderen real existierenden Programmiersprachen auch, ein Datenobjekt eines festgelegten Typs, das unterschiedliche Werte enthalten kann. Man definiert einfache Variablen in C nach folgendem Schema:

```
Typname Variablenname, Variablenname, ..., Variablenname;
```

Am besten betrachten wir gleich ein Beispielprogramm, im dem ein paar Variablen und andere neue Sprachelemente vorkommen:

```
#include <stream.h>

void main()
{  // Variablen muß man definieren, bevor man sie benutzt:
   int Eingabe1, Eingabe2;
   int Summe, Produkt, Mittelwert;

   // Jetzt kommen die Anweisungen unseres Programms:
   cout « "Bitte geben Sie zwei Zahlen ein: ";

   // Die folgende Anweisung erwartet zwei Eingaben des Benutzers:
   cin » Eingabe1 » Eingabe2;

   // Nun haben diese beiden Variablen Werte, und wir können
   // einige Berechnungen durchführen:
   Summe = Eingabe1+Eingabe2;
   Produkt = Eingabe1*Eingabe2;
   Mittelwert = Summe/2;

   // Wir geben die Ergebnisse aus:
   cout « "\n"          // Zeilenvorschub, sieht einfach besser aus
   « "Die Summe von " « Eingabe1 « " und " « Eingabe2
```

```
  « " ist " « Summe « ".\n";
  cout « "Das Produkt dieser Zahlen ist " « Produkt « ".\n";
  cout « "Ihr arithmetisches Mittel ist " « Mittelwert
  « " (abgerundet).\n";
}
```

Das Programm fängt ganz gewohnt an: Wir benutzen wieder die Definitionen aus `<stream.h>` und deklarieren die Hauptfunktion `"main"`. Der Anweisungsteil beginnt dann auch sofort mit zwei Zeilen mit Variablendefinitionen. Wie Sie aus dem zuvor gesagten messerscharf schließen können, ist hier `"int"` jeweils der Name des Datentyps.

Eine Variable des Typs `"int"` kann eine ganze Zahl enthalten. Diese kann positiv oder negativ sein, darf aber nicht beliebig groß oder klein werden, nämlich so ungefähr im Bereich von `-2000000000` bis `+2000000000` (in Worten: plus/minus zwei Milliarden). Es gibt in C++ noch weitere Zahl-Datentypen, die z. B. noch größere oder auch gebrochene oder nur positive Zahlen umfassen. Ich möchte diese aber lieber in einem späteren Kapitel im Überblick einführen, denn für unsere ersten Programmierversuche reicht der Datentyp `"int"` vollkommen aus.

Die erste `"int"`-Zeile definiert also zwei Variablen eben diesen Typs. Ihre Namen - hier `"Eingabe1"` und `"Eingabe2"` - sind Bezeichner, die wir frei wählen können, einmal abgesehen davon, daß wir natürlich die im vorherigen Abschnitt genannten Regeln für Bezeichner beachten müssen und daß wir jeden Namen nur einmal verwenden können. Wir wählen hier die Namen so, daß man daran sofort erkennen kann, was die Variablen zu bedeuten haben, daß sie nämlich für Eingaben des Benutzers gedacht sind. Wenn das aus Längengründen nicht möglich ist - und das ist bei komplexeren Programmen der Normalfall - sollten Sie hinter die Definition einen Kommentar setzen, der die Bedeutung der Variablen erläutert.

Wichtig

In dem Moment, wo eine Variable definiert wird, hat sie noch keinen (bzw. einen zufälligen, undefinierten) Wert!

Die zweite `"int"`-Zeile definiert drei weitere Variablen, ebenfalls mit aussagekräftigen Namen. Es hat keinen besonderen Grund, daß wir die Definition hier auf zwei Zeilen aufgeteilt haben, genauso gut hätten wir auch alle fünf Variablen in einer Zeile definieren können. Auch müssen die Variablendefinitionen in C++ nicht immer am Anfang einer Funktion stehen: es reicht, wenn sie vor ihrer ersten Benutzung definiert werden.

Übrigens: `"int"` ist kein Bezeichner, sondern ein Wortsymbol wie `"void"`. Und auch `"void"` bezeichnet einen Datentypen - allerdings den leeren Typen, der keinerlei Werte umfaßt und auch gar keine irgendwie besonderen Eigenschaften hat. Deshalb ist es auch nicht erlaubt, eine Variable des Typs `"void"` zu definieren. Der Typ `"void"` kann nur zu ganz bestimmten Zwecken eingesetzt werden, z. B. als Pseudo-Rückgabetyp einer Funktion, die gar kein Ergebnis liefert.

Nun folgen also die Anweisungen unseres Programms. Deren erste verstehen Sie ja bereits: Der Benutzer wird aufgefordert, zwei Zahlen einzutippen. Neu ist hingegen `"cin"`. Das ist, genau wie

`"cout"`, ein Datenobjekt, nur steht es für die Standardeingabe statt -ausgabe. Der Operator `"»"`, angewandt auf das Objekt `"cin"` und eine Variable, liest einen Wert des passenden Typs - hier also Int-Zahlen - vom Standard-Eingabemedium und weist ihn der Variablen zu. Also wartet das Programm hier, bis der Benutzer zwei Zahlen eingegeben hat, und weist diese dann den beiden Variablen zu.

Natürlich kann nicht nur der Anwender (durch eine Texteingabe) einer Variablen einen Wert zuweisen - das kann das Programm auch selbst. Dazu dient in C++ der Operator `"="`.

Wie Sie sehen, steht linkes vom `"="` immer eine Variable und rechts ein Ausdruck, der der Variablen zugewiesen werden soll. Ein Ausdruck besteht in C++ im wesentlichen aus Variablen, Konstanten und Operatoren. Dabei funktioniert alles, wie Sie es aus der Mathematik gewohnt sind: `"+"` addiert, `"*"` multipliziert, `"/"` dividiert, es gilt die Regel „Punktrechnung vor Strichrechnung", und Sie können bei Bedarf auch Klammern setzen, und zwar runde: `"()"`. Zu erwähnen ist noch, daß der Divisionsoperator, wenn er auf ganze Zahlen angewendet wird, auch ein ganzzahliges Ergebnis liefert, indem er bei der Division auftretende Nachkommastellen einfach abschneidet. Außer den in unserem Programm benutzten Operatoren gibt es noch das `"-"` für die Subtraktion, das auch als Vorzeichen verwendet werden kann, und den Modulo-Operator `"%"`, der den bei einer Division auftretenden Rest liefert, und noch jede Menge andere.

Nach den drei Zuweisungsoperationen haben also unsere drei Variablen geeignete Werte, die dann in drei `"cout"`-Zeilen ausgegeben werden. Hier haben wir mehrfach den Zeilenvorschub `"\n"` benutzt, um zu erreichen, daß jeder Wert in eine eigene Zeile ausgegeben wird. Wir hätten natürlich auch alle drei `"cout"`'s zu einem einzigen Ausdruck zusammenfassen können, aber so bleibt es wenigstens noch halbwegs übersichtlich.

1.4 Numerische Datentypen und Operatoren

1.4.1 Ganzzahlige Datentypen

Den wohl wichtigsten und meistgebrauchten numerischen Typen kennen Sie ja schon, nämlich `"int"`. Dieser Datentyp ist, wie man so schön sagt, 32 Bit „breit", wobei ein Bit für das Vorzeichen gebraucht wird. Der Wertebereich geht damit von `-2147483648` bis `+2147483647` (daß der Bereich im negativen Bereich um 1 größer ist, kommt indirekt daher, daß es nicht sinnvoll ist, zwischen `+0` und `-0` zu unterscheiden. Die redundante `-0` wird gewissermaßen zur Codierung einer zusätzlichen negativen Zahl benutzt).

Oft hat man es in Programmen aber auch mit Zahlen zu tun, die gar nicht negativ werden können, und dann wäre es doch Verschwendung, ein Bit für das Vorzeichen zu benutzen. Außerdem ist es doch auch viel schöner, wenn man den Umstand, daß man es mit positiven Zahlen zu tun hat, im Programmtext ausdrücken kann. Deshalb gibt es auch eine vorzeichenlose Variante von `"int"`, naheliegenderweise `"unsigned int"` genannt.

Einmal davon abgesehen, daß der Typname hier aus zwei Schlüsselwörtern besteht, deklariert man eine vorzeichenlose Variable genauso wie ein gewöhnliches `"int"`, z. B. so:

```
unsigned int IrgendNeVariable;
```

- wobei man auch das `"int"` weglassen kann:

```
unsigned NochNeVariable;
```

Der Wertebereich solcher Variablen geht dann von `0` bis `4294967295`.

Nicht immer - genaugenommen sogar recht selten - hat man es mit großen Zahlen zu tun. Oft kann man Speicherplatz sparen, wenn man schmalere Datentypen benutzt. Unter bestimmten Umständen spart das sogar Rechenzeit, da der normale 68000-Prozessor ja eigentlich nur ein 16-Bit-Prozessor ist. Also gibt es die Datentypen `"short int"` sowie `"unsigned short int"`, die nur 16 Bit breit sind und einen entsprechend geringeren Wertebereich haben, den Sie der Tabelle auf der übernächsten Seite entnehmen können. Auch hier ist es Ihnen wie auch bei den folgenden Datentypen freigestellt, das `"int"` einfach wegzulassen.

Die genauen Datenbreiten sind leider in keinem Standard definiert, es gibt nur Mindestwerte. Deshalb gibt es auch C-Compiler, die allerdings langsam aussterben, mit nur 16 Bit breiten `"int"`-Typen. Die wirklich großen Datentypen heißen dann `"long int"` bzw. `"unsigned long int"`. MaxonC^{++} kennt diese Datentypen natürlich auch, aber sie sind eben nur genauso lang wie die entsprechenden `"int"`-Typen. `"int"` und `"long int"` sind aber trotzdem formal zwei verschiedene Datentypen und nicht nur zwei verschiedene Schreibweisen für denselben Typen!

Dafür hat MaxonC^{++} eine kleine Besonderheit: 64 Bit breite Zahlen! Ursprünglich war nämlich vorgesehen, die `"long"`-Typen 64 Bit breit zu wählen, aber aus Kompatiblitätsgründen wurde dann davon abgesehen. Statt dessen gibt es jetzt die Datentypen `"long long int"` und `"unsigned long long int"`, die ca. 19-stellige Zahlen aufnehmen können - ein nettes Feature, das man wohl nur selten brauchen wird, aber was man hat, das hat man. Es sei hier aber vor gedankenloser Benutzung dieser Datentypen gewarnt: Der Prozessor kann intern nur mit 32-Bit-Werten rechnen (und extern, wie oben angedeutet, sogar nur 16 Bit lesen und schreiben). Deshalb muß ein Programm für so ziemlich jede 64-Bit-Operation eine Bibliotheksfunktion aufrufen, entsprechend langsam geht das dann.

Übrigens: Man kann nicht nur das `"int"` am Ende optional weglassen. Es ist auch erlaubt, bei den vorzeichenbehafteten Datentypen `"signed"` davorzusetzen, etwa `"signed int"` (was nichts anderes als `"int"` ist) oder `"signed long long"`.

Für Programmierer, die von Pascal oder ähnlichen Sprachen auf C umsteigen, ist es oft befremdlich, daß ein Zeichen in C nichts anderes als eine Zahl ist. Das ist im Prinzip natürlich vollkommen korrekt, denn der Computer kann nun einmal ausschließlich mit Zahlen arbeiten, so daß es intern keinen Unterschied zwischen einer 8 Bit breiten Zahl und einem Zeichen gibt. Deshalb kann man in C^{++} (Ästheten würden hier „leider" hinzufügen) den Datentypen `"char"` sowohl für Zahlen als auch für Zeichen verwenden - kommt ganz darauf an, wie man es betrachtet.

Folgerichtig gibt es auch Zeichen (oder sollte man besser „Ein-Byte-Zahlen" sagen?) mit und ohne Vorzeichen, also die Datentypen `"signed char"` und `"unsigned char"`. Die Wertebereiche können Sie wieder der Tabelle am Ende dieses Abschnitts entnehmen.

Aber ist `"char"` nun identisch mit `"signed char"` oder `"unsigned char"`? Der ANSI-C-Standard läßt diese Frage offen, und damit hier gar keine Verwirrung entsteht, ist festgelegt, daß die drei Datentypen alle verschieden sind. In der Praxis ist `"char"` in MaxonC++ aber identisch mit `"signed char"`.

So, und nun kommt endlich die versprochend Tabelle der Datentypen von MaxonC++:

Typ	von	bis
`signed char`	`-128`	`127`
`char`	`-128`	`127`
`unsigned char`	`0`	`255`
`short`	`-32768`	`32767`
`unsigned short`	`0`	`65535`
`int`	`-2147483648`	`2147483647`
`unsigned int`	`0`	`4294967295`
`long`	`-2147483648`	`2147483647`
`unsigned long`	`0`	`4294967295`
`long long`	`-9223372036854775808`	`9223372036854775807`
`unsigned long long`	`0`	`18446744073709551615`

1.4.2 Literale für ganze Zahlen und Zeichenketten

Ein „Literal" ist ganz allgemein eine vom Compiler akzeptierte Schreibweise für eine Konstante. In dem kleinen Programm

```
void main()
{ int i;
  i = 42;
}
```

ist `"42"` eine Schreibweise für die bekannte und beliebte Zahl 42. Das klingt natürlich noch nicht sehr aufregend, aber es gibt in C noch viele andere mögliche Schreibweisen für ganze Zahlen.

Zunächst kann man im Literal angeben, welchen Typ die Zahl haben soll. Ein angehängtes `"u"` oder `"U"`, auch „Suffix" genannt, macht aus der Zahl einen vorzeichenlosen Wert, während das Suffix `"l"` oder `"L"` den Datentypen `"long int"` erzwingt.

Beispiele:

```
42 ist int
42U  ist unsigned
42L  ist long
42UL ist unsigned long
```

MaxonC++ kennt außerdem noch die Suffixe "LL" und "ULL" für die ganz breiten Datentypen:

```
42LL ist long long
42ULL  ist unsigned long long
```

Außerdem gibt es in C noch verschiedene Zahlenbasen, nämlich Hexadezimal und Oktal. Hexadezimale Zahlen beginnen mit "0x" oder "0X" und erlaubte Ziffern sind '0' bis '9', 'a' bis 'f' bzw. 'A' bis 'F'. Wie Sie sehen, ist bei Zahlendarstellungen die Groß-/Kleinschreibung generell nicht signifikant. Zum Beispiel hat "0xABCD" den Wert 43981 und "0X2A" ist 42.

Weniger gebräuchlich sind inzwischen die oktalen Zahlen, also die mit der Basis 8. Deshalb ist ihre Schreibweise wohl eher ein Relikt aus der Frühzeit von C: oktal sind nämlich alle Zahlen, die mit einer Null beginnen. "052" ist also dezimal 42 und nicht etwa 52!

Immerhin ist man inzwischen so weit (seit ANSI-C), daß '8' und '9' keine oktalen Ziffern sind. In alten Zeiten war "08" eine gültige Schreibweise für 8 - das gibt es jetzt nicht mehr. Jetzt gehen die Ziffern von '0' bis '7', wie sich das gehört.

Bekanntlich gibt es in C keinen wirklichen Unterschied zwischen Zahlen und Zeichen, weshalb in diesem Abschnitt auch char-Literale behandelt werden sollen. Für Zeichen verwendet man einfache Anführungszeichen, z. B.

```
char c, d;
c = 'X';
d = c+1;
```

Als Ergebnis erhält "d" hier übrigens das Zeichen, dessen Code um 1 größer als der von 'X' ist, nämlich 'Y'.

Genau wie bei konstanten Zeichenketten kann man auch hier die nicht-darstellbaren Steuerzeichen benutzen:

```
char c;
c = '\n';
```

weist "c" das Zeilentrennerzeichen zu, das übrigens auch LF (Linefeed) genannt wird und den Code 10 hat. Es werden sowohl bei Zeichen- als auch bei Zeichenkettenkonstanten folgende Steuer- und sonstige Zeichen unterstützt:

```
\n Zeilentrenner (LF)
\t Tabulator
\b Backspace (ein Zeichen zurückgehen)
\r Wagenrücklauf (Cursor an Zeilenanfang setzen)
\f Seitenvorschub (Bildschirm löschen)
\a Klingelzeichen
\\ das Gegenschrägstrich-Zeichen selbst
\? Fragezeichen
\' einfaches Anfügrungszeichen (z. B. als Charkonstante '\'')
\" doppelte Anführungszeichen (z. B. in Stringkonstanten)
```

Das Fragezeichen kann man natürlich auch ohne vorgestellten Gegenschrägstrich in Strings verwenden. Es gibt in ANSI C allerdings die sog. Trigraph-Sequenzen, mit denen man den C-Standard auch auf Rechnern mit einem etwas seltsamen Zeichensatz mehr oder weniger benutzbar machen will. Dabei kann man jeweils zwei Fragezeichen, gefolgt von einem dritten Zeichen, als Ersatz für einige ASCII-Zeichen verwenden. Z. B. ist `"??="` eine Ersatzschreibweise für `"#"`, und `"??)"` kann man überall als Ersatz für die eckige Klammer `"]"` benutzen. Das braucht Sie auf Ihrem Amiga eigentlich nicht zu stören, denn Sie haben ja alle notwendigen Zeichen auf Ihrer Tastatur (auch wenn Sie evtl. manchmal etwas suchen müssen). Probleme gibt es höchstens dann, wenn Sie in einer Zeichenkette zwei Fragezeichen hintereinander verwenden und zufällig das falsche Zeichen dahinter setzen:

```
cout « "(Bahnhof??)";
```

gibt nicht etwa `"(Bahnhof??)"`, sondern `"(Bahnhof]"` aus. Wenn Sie aber vor das zweite Fragezeichen einen Gegenschrägstrich setzen, können Sie diese Ersetzung unterdrücken, denn der Compiler ersetzt erst Trigraph-Sequenzen durch ihre Entsprechungen und erkennt dann erst Sonderzeichenfolgen in Strings.

Wenn Sie ein ganz besonderes Zeichen wollen, können Sie auch den entsprechenden ASCII-Code in Strings einsetzen. Sie haben die Wahl zwischen oktaler und hexadezimaler Angabe des Zeichencodes: Hinter den Backslach setzen Sie entweder bis zu drei oktale Ziffern oder ein `"x"`, gefolgt von beliebig vielen Hexadezimal-Ziffern. Das Linefeed-Zeichen `"\n"` kann man also auch durch `"\12"` oder `"\x0a"` ersetzen, was natürlich die Portabilität des Programms unnötig einschränken würde. Allerdings ist es üblich (und auch legal), das Nullzeichen, das in C Strings abschließt, `'\0'` zu schreiben. Man könnte hier natürlich auch die Zahlenkonstante 0 verwenden, denn es gibt ja keinen Unterschied zwischen Zeichen und Zahlen, aber die erste Schreibweise ist anschaulicher, da klargemacht wird, daß hier wirklich das Zeichen 0 gemeint ist.

1.4.3 Ganzzahlige Operatoren und Berechnungen

1.4.3.1 Allgemeines

C und C++ bieten dem Programmierer eine reiche Auswahl an Operatoren. Die einfachsten arithmetischen Operatoren `"+"`, `"-"`, `"*"` und `"/"` sowie den Zuweisungsoperator `"="` haben Sie ja bereits kennengelernt. Hier gilt die aus der Mathematik bekennte Regel „Punktrechnung vor Strichrechnung", d. h. `1+2*3` entspricht `"1+(2*3)"`. Wenn Sie hier die Auswertungsreihenfolge ändern wollen, können Sie entsprechend (runde) Klammern setzen. Außerdem ist zu erwähnen, daß die Bindung von links nach rechts erfolgt: `"26731-47-11-42"` entspricht erwartungsgemäß `"((26731-47)-11)-42"` und nicht etwa `"26731-(47-(11-42))"`. Das ist insofern erwähnenswert, als daß es in C++ durchaus auch Operatoren gibt, bei denen die Bindung von rechts erfolgt.

Damit wir nicht völlig die Übersicht verlieren, möchte ich die Operatoren in der Reihenfolge ihrer Bindung vorstellen, d. h. zuerst die, die am stärksten binden.

1.4.3.2 Postfix-Operatoren

Vorerst interessieren uns hier nur die nachgestellten Inkrement- und Dekrement-Operatoren `"++"` und `"--"`. Sie bieten eine einfache und übersichtliche Möglichkeit, den Wert einer Variablen um 1 zu erhöhen bzw. zu erniedrigen.

Beispiel:

```
int i;
i = 42;
i++;
```

Anschließend hat `"i"` den Wert 43; bei `"--"` wäre dementsprechend 1 subtrahiert worden. Als Operanden benötigen `"++"` und `"--"` einen sogenannten L-Wert. Bisher sind Variablen die einzigen L-Werte, die wir bisher kennengelernt haben. Die Bezeichnung kommt übrigens daher, daß ein L-Wert insbesondere auf der linken Seite des Zuweisungsoperators `"="` stehen darf, so wie in `"i = 42"`. Der Ausdruck `"41++"` wäre also nicht erlaubt.

Jeder Operator hat in C++ ein Ergebnis. `"++"` und `"--"` liefern als Ergebnis den Wert, den der L-Wert vorher (!) gehabt hatte. Also ist folgende Codesequenz nicht unbedingt schön, aber möglich:

```
int i, j;
i = 42;
j = i--;
```

Anschließend ist `"i"` wieder 41, während `"j"` den alten Wert von `"i"`, also 42, erhält.

Das Ergebnis ist allerdings kein L-Wert. Folgende naheliegende Anweisung zum Addieren von 2 ist also nicht erlaubt:

```
i++ ++;
```

Da diese beiden Postfixoperatoren also nur höchstens einmal angewendet werden können, ist es eigentlich müßig, ob die Bindung nun von links oder von rechts erfolgt. Wir werden später aber noch andere Postfixoperatoren kennenlernen, und deshalb sei jetzt schon der Vollständigkeit halber erwähnt, das die Auswertung von links erfolgt - was auch einsichtig ist, denn wenn da obiges Beispiel erlaubt wäre, würde es natürlich als `"(i++)++"` ausgewertet, während `"i(++ ++)"` überhaupt keinen Sinn ergäbe.

Am Rande sei noch bemerkt, daß der Ursprung der Bezeichnung „C++" im Dunkeln liegt. Die wahrscheinlichste Deutung ist, daß hier der Inkrementoperator auf die Programmiersprache „C" angewandt wurde, wobei allerdings der Operator ein wenig unglücklich gewählt wurde, denn wie Sie jetzt wissen, ist das Ergebnis von „C++" ja der alte Wert von „C". Wesentlich aussagekräftiger wäre deshalb der Name „++C", womit wir auch schon bei der nächsten Gruppe von Operatoren sind:

1.4.3.3 Unäre Operatoren

Die Operatoren `"++"` und `"--"` können einem L-Wert auch vorangestellt werden. Dann wird zum Operanden ebenfalls 1 addiert bzw. subtrahiert, aber hier wird als Ergebnis der neue Wert des Operanden geliefert.

Beispiel:

```
int i, j;
i = 42;
j = ++i;
```

Nun sind sowohl "i" als auch "j" 43. Erfahrungsgemäß ist es für C-Anfänger gar nicht so einfach, diese beiden Anwendungsarten derselben Operatoren auseinander zu halten. Am besten prägen Sie sich ein, daß bei "++var" zuerst addiert und dann der Variablenwert gelesen wird, während es bei "var++" entsprechend umgekehrt ist (für "--" analog).

Vier weitere unäre Operatoren können ebenfalls auf ganzen Zahlen angewendet werden:

+ Das Vorzeichen "+" macht nichts mit dem dahinterstehenden Ausdruck und ist somit ziemlich überflüssig.

- Das Minus kann ebenfalls als Vorzeichen benutzt werden und liefert den negierten Wert des Operanden. Bei vorzeichenlosen Datentypen ist das Ergebnis theoretisch undefiniert. MaxonC++ bildet hier das sog. 2-Komplement der vorzeichenlosen Zahl, aber darauf kann man sich nicht bei allen Compilern verlassen.

! Dieser Operator wird allgemein „nicht" (bzw. "not") genannt und bildet die logische Negation des Operanden: !x ist 1, wenn x = 0 gilt, und sonst 1. Die Operation ist nicht umkehrbar, denn !!x ist nicht identisch mit x.

~ Die Tilde steht in C für bitweise Negation: Jedes einzelne Bit wird umgedreht, d. h. aus 1 wird 0 und umgekehrt. Bei vorzeichenbehafteten Werten gilt ~0 = -1, ~42 = -43. Der Operator ist übrigens seine eigene Umkehrung: ~~x ergibt in jedem Fall wieder x.

Da diese Operatoren (im Gegensatz zu "++" und "--") den Wert des Operanden nicht verändern, muß dieser kein L-Wert sein. Die Bindung erfolgt natürlich von rechts:

"--!++x" ist "-(~(!(++x)))". Man beachte auch, daß "-1" in C kein Literal, sondern ein Ausdruck mit dem Operator "-" und dem Literal "1" ist.

Unäre Operatoren binden schwächer als Postfix-Operatoren. Also ist der Ausdruck

```
-i--
```

erlaubt und entspricht

```
-(i--) ,
```

was übrigens ein Beispiel für die berüchtigte Lesbarkeit von C ist.

Ein weiterer unärer Operator ist "sizeof". Er wertet den Operanden nicht aus, sondern gibt nur an, wieviel Speicher er belegt. Das Ergebnis hat laut ANSI den Datentypen "size_t", der in der Includedatei <stdlib.h> definiert ist. Unter MaxonC++ ist "size_t" identisch mit "unsigned int".

Es gibt zwei verscheidene Anwendungsarten von `"sizeof"`:

- Der Operand ist kein Ausdruck, sondern der Name eines Datentyps. Dann ist er in runde Klammern zu setzen, etwa so:

```
sizeof(long int)
```

Dieser Ausdruck ergibt in MaxonC++ übrigens `4`, oder genaugenommen `4u`, denn das Ergebnis ist ja `"unsigned int"`. In C++ ist garantiert, daß `"sizeof(char)" 1` liefert.

- Als Operand wird ein Ausdruck angegeben, der in Klammern stehen darf, aber nicht muß. Dann wird als Ergebnis der Speicherplatzbedarf des Typs des Operanden geliefert. Da der Typ eines Ausdrucks in C++ schon beim Compilieren festgestellt wird, wird der Ausdruck zur Laufzeit des Programms gar nicht ausgewertet.

Beispiel:

```
int i, j;
i = 42, j = sizeof i++;
```

`"j"` erhält als Wert den Speicherplatzbedarf des Typs von `i++`, der identisch mit dem von `"i"` ist, nämlich `"int"`. In MaxonC++ ist `"sizeof(int)" 4`. Da der Operand `"i++"` aber nicht ausgewertet wird, wird der Wert von `"i"` auch nicht verändert - es gilt weiter `"i=42"`.

Der `"sizeof"`-Operator wird vor allem für maschinennahe „low level"- Operationen benötigt. In C ist er außerdem wichtig, damit man bei der Funktion `"malloc"` weiß, wieviel Speicher angefordert werden soll, aber daß geht in C++ viel schöner und eleganter. Dazu später mehr.

1.4.3.4 Multiplikative Operatoren

So heißen die drei Operatoren, die gleichen Vorrang wie `"*"` haben, nämlich `"/"`, `"%"` und natürlich `"*"` selbst.

Die Multiplikation `"*"` kennen Sie bereits. Zur Division `"/"` ist nur zu sagen, daß das Ergebnis bei ganzzahligen Operanden ebenfalls ganzzahlig ist und stets abgerundet wird. Ist einer der Operanden negativ, so werden die Beträge dividiert und das Ergebnis bekommt dann ein negatives Vorzeichen. Sind beide Operanden negativ, werden auch die Beträge dividiert, und das Ergebnis ist positiv. Das „Abrunden" bezieht sich hier also auf den Betrag des Ergebnisses.

Und dann wäre da noch der Operator `"%"`. Er liefert den bei der ganzzahligen Division auftretenden Rest. `17/4` liefert also den Quotienten `4,17%4` den Rest `1`. Hier gelten die gleichen Vorzeichenregeln wie bei der Division, was mathematisch nicht gerade schön ist: Nach der mathematischen Definition ist „a modulo b" stets eine Zahl zwischen 0 und b-1, z. B. gilt

```
-17 modulo 4 = 3
(-17/4 = -4.25, abgerundet also -5; 4*(-5) ist -20,
der Rest ist dann (-17)-(-20) = 3)
```

In MaxonC++ liefert `"-17 % 4"` dagegen das Ergebnis `-1`, denn der Quotient ist wegen Abrundung des Betrags `-4, 4*(-4)` ergibt `-16`, der Rest ist also `(-17)-(-16) = -1`.

Warum diese unschöne Definition in MaxonC++? Der Grund ist ganz einfach der, daß der Prozessor MC68000, der in den meisten Amiga steckt, so rechnet.

Da wir gerade dabei sind, den Prozessor schlechtzumachen: er kann noch nicht einmal richtig multiplizieren und dividieren! Die eingebauten Multiplikationsbefehle können lediglich zwei 16-Bit-Zahlen multiplizieren, wobei das Ergebnis dann immerhin ein 32-Bit-Wert ist; bei der Division kann er nur einen 32-Bit-Wert durch eine 16-Bit-Zahl teilen, wobei Ergebnis und Rest dann höchstens 16 Bit breit sein dürfen, sonst ist das Ergebnis undefiniert. Z. B. liefert folgendes Programmfragment

```
int i, j;
i = 2, j = 50000;
cout « i*j;
```

normalerweise ein vollkommen falsches Ergebnis, denn 50000 ist schon zu groß für eine vorzeichenbehaftete 16-Bit-Zahl (also ein `"short int"`).

Was tun? Entweder kaufen Sie sich nun umgehend einen 68030-Karte für Ihren Amiga, denn der kann vernünftig multiplizieren. Alternativ können Sie aber auch die Option ***„IntMult 32"*** im Pull-Down-Menü **„Optionen:Compiler"** aktivieren. Dann benutzt MaxonC++ nicht die eingebauten Multiplikations- und Divisionsoperationen des Prozessors, sondern ruft jeweils Bibliotheksroutinen auf, die richtig rechnen.

Das hat allerdings den Haken, daß diese Funktionsaufrufe um einiges länger dauern als die Prozessoroperationen. Also sollten Sie sich überlegen, ob Sie wirklich die genauen Bibliotheksfunktionen brauchen, denn oft hat man es ja mit relativ kleinen Zahlen zu tun, die die 16-Bit-Grenze nicht überschreiten.

Es sei noch angemerkt, daß MaxonC++, genau wie alle anderen namhaften C-Implementierungen, arithmetische Überläufe nicht abfängt. Sie können also unter Umständen unsinnige Ergebnisse erhalten, wenn Sie Ihre Datentypen nicht breit genug wählen. Das gehört leider zum Konzept von C++ (ist aber eher eine ungeliebte Erbschaft von C): man programmiert ohne Netz und doppelten Boden. Die Philosophie ist nun einmal, daß ein C-Programmierer weiß, was er will. Als Trost für die geringere Sicherheit bekommt man aber höhere Geschwindigkeit, denn das laufende Programm muß keine Zeit darauf verschwenden, irgendwelche Fehler abzufangen.

1.4.3.5 Addition und Subtraktion

Zu den Operatoren `"+"` und `"-"` gibt es nicht viel zu sagen: sie liefern die Summe bzw. die Differenz ihrer beiden Operanden. Die Bindung erfolgt naheliegenderweise von links.

1.4.3.6 Shift-Operatoren>>

Die beiden Operatoren `"<<"` und `">>"` kennen Sie schon: Damit werden Ausgaben nach `"cout"` geschrieben bzw. Eingaben aus `"cin"` geholt. Aber das ist nicht ihre ursprüngliche Funktion: C++ bietet nämlich die Möglichkeit, Operatoren auf Klassen zu überladen, und in `<stream.h>` hat man nun eben zwei Operatoren auf den Klassen `"ostream"` bzw. `"istream"` überladen, um Objekte dieser Klassen - nämlich `"cout"` und `"cin"` - mit anderen Ausdrücken zu verknüpfen und so eine

flexible Schreibweise für Ein- und Ausgaben zu erhalten. Daß man gerade die Operatoren "«" und "»" dafür gewählt hat, hat keine tiefsinnigere Bedeutung.

In Wirklichkeit haben "«" und "»" nämlich eine ganz andere Aufgabe: Sie shiften Bits nach links bzw. nach rechts.

Beispiel:

```
int i, j, k;
i = 13, j = i « 2;
cout « j;
```

Die Zahl 13 hat die Binärdarstellung 1101. Im Ausdruck "i « 2" werden alle Bits um zwei Positionen nach links geschoben und rechts wird mit Nullen aufgefüllt, was 110100 ergibt - und das ist dezimal 52 und somit die Ausgabe unseres Programmfragments. Ein n-facher Linksshift entspricht einer Multiplikation mit 2^n.

Der Rechtsshift-Operator "»" arbeitet analog, nur werden die Bits eben nach rechts verschoben, was einer Division durch 2^n entspricht. Bei vorzeichenbehafteten Datentypen bleibt das Vorzeichen erhalten. Übrigens binden auch diese Operatoren von links nach rechts.

Shift-Operationen braucht man vor allem für maschinennahe Bit-Manipulationen. Es ist ein beliebter Trick, Multiplikationen und Divisionen durch Verschiebungen zu ersetzen, denn mit einem Shift kann man erheblich Rechenzeit sparen. MaxonC^{++} optimiert aber schon selbstständig "8*i" zu "i«3", so daß Sie sich solche Bitfummeleien sparen können.

Wenn sie auch vollkommen unterschiedliche Bedeutungen haben, so haben die beiden bisher beschriebenen Bedeutungen von "«" doch den gleichen Auswertungsvorrang. Z. B. wird

```
cout « i « j;
```

ausgewertet wie

```
(cout « i) « j;
```

d. h. es wird erst "i" und dann "j" ausgegeben. Wenn Sie etwas anderes wollen, müssen Sie

```
cout « (i « j);
```

schreiben. Entsprechend ist

```
cout « i » j;
```

ein Fehler, denn hier werden zuerst "cout" und "i" verknüpft und und dann das Ergebnis und "j" mit "»" verknüpft. Da der Operator "»" aber auf dem Typen von "cout", nämlich der Class "ostream", gar nicht definiert ist, meldet der Compiler hier einen Fehler. Hier müssen Sie also auf jeden Fall Klammern setzen.

Dieser scheinbar unpraktische Sachverhalt kommt daher, daß man in C++ zwar Operatoren überladen und umdefinieren kann, so wie es mit `"<<"` auf `"ostream"` getan wird, aber nicht ihre Auswertungsreihenfolge verändern kann.

1.4.3.7 Vergleiche

Es gibt hier zwei Gruppen von Vergleichen mit unterschiedlichem Vorrang. Da wären zunächst die Vergleiche „kleiner" `( < )`, „kleiner oder gleich" `( <= )`, „größer" `( > )` und „größer oder gleich" `( => )`. Sie vergleichen zwei Zahlenwerte und liefern eine `1`, wenn die Bedingung wahr ist, und sonst eine `0`. Die Bindung geschieht von links nach rechts, aber Vorsicht:

```
0 < n < 1000
```

wird ausgewertet als

```
(0 < n) < 1000
```

Der Ausdruck in den Klammern liefert `0` oder `1`, was stets kleiner als 1000 ist. Also sind obige Ausdrücke immer wahr! Ob eine Zahl wirklich zwischen 0 und 1000 liegt, müßte man mit

```
(0 < n) && (n < 1000)
```

abfragen - den Operator `"&&"` lernen wir weiter unten kennen.

Dann gibt es die Vergleichsoperatoren `==` („gleich") und `!=` („ungleich"). Sie werden nach den anderen Vergleichsoperatoren ausgewertet:

```
a < b == c > d != 1
```

entspricht

```
((a < b) == (c > d)) != 1,
```

was logisch äquivalent zu

```
!((a < b) == (c > d))
```

ist (Sie erinnern sich: `"!"` war die logische Negation) und somit

```
(a < b) != (c > d)
```

entspricht. Das Ganze ist dann so etwas wie ein „ausschließliches Oder", denn der Ausdruck ist wahr, wenn einer der beiden Teilausdrücke - aber nicht beide - wahr ist. Und damit hätte ich auch schon elegant zu den diversen logischen Operatoren übergeleitet.

Achtung: C-Anfänger haben oft ihre Probleme mit dem Vergleichsoperator `==`, denn viele andere Programmiersprachen verwenden hier das einfache `"="`. Fehler wie `"n = 5"` statt `"n == 5"` kommen anfangs oft vor und sind dann schwer zu finden. Aber ich kann Sie beruhigen: Man gewöhnt sich daran.

1.4.3.8 Bitweise Verknüpfungen

Neben dem bereits erwähnten unären bitweisen „Nicht"-Operator `"~"` bietet C++ noch die Bit-Verknüpfungen `"&"` (UND), `"^"` (AUSSCHLIESSLICHES ODER) und `"|"` (ODER). Von diesen hat `"&"` die höchste und `"|"` die niedrigste Auswertungspriorität, ansonsten erfolgt die Auswertung von links nach rechts. Die ganzzahligen Operanden werden Bit für Bit logisch verknüpft. Dabei werden alle Operanden ausgewertet, auch wenn das manchmal nicht nötig wäre: Bei Ausdrücken wie `"0 & x"` ist das Ergebnis ohnehin `0`, so daß der Teilausdruck `"x"` eigentlich nicht weiter betrachtet werden müßte. Dies geschieht aber trotzdem, anders als bei den nun folgenden logischen Verknüpfungen:

1.4.3.9 Logische Operatoren

In C steht die Zahl `0` für `"falsch"` und jede andere Zahl für `"wahr"`. Es gibt also keinen speziellen booleschen Datentypen wie in Pascal. Das ist oft ganz praktisch, denn statt `"i != 0"` kann man deshalb ganz einfach `"i"` schreiben, oder auch `"!i"` statt `"i == 0"`.

Logische Aussagen können mit „Und" sowie „Oder" verknüpft werden. Die Operatoren dazu heißen `"&&"` bzw. `"||"` und liefern als Ergebnis stets `0` oder `1`. Dabei wird die Auswertung ggf. angekürzt: ist bei `"&&"` der linke Operand `0`, also logisch falsch, ist das Ergebnis sowieso `0` und der rechte Operand wird überhaupt nicht mehr betrachtet. Bei `"||"` entfällt entsprechend die Auswertung des rechten Operanden, wenn der linke bereits logisch wahr, also von `0` verschieden, ist.

Ein etwas obskures Beispiel:

```
int i, j;

j = i>=0 && i++;
```

Welchen Wert erhält hier `"j"`, und was geschieht mit `"i"`?

Wenn die linke Bedingung `"i>=0"` falsch ist, ist das Ergebnis `0` und die Auswertung wird abgebrochen, der Wert von `"i"` wird also nicht verändert. Falls `"i"` aber doch positiv ist, muß die rechte Bedingung doch noch ausgewertet werden. Also wird dann `"i"` um 1 erhöht und dann der alte Wert von `"i"` betrachtet. Ist er logisch falsch, also `0`, so erhält `"j"` ebenfalls den Wert `0`, andernfalls wird `1` zugewiesen.

Das Beispiel entspricht also:

```
if (i>=0)
{ j = (i != 0);
     i++;
}
else
   j = 0;
```

was natürlich wesentlich anschaulicher sind. Genaueres über `"if"` und `"else"` erfahren Sie in einem der folgenden Abschnitte.

Der Operator `"&&"` wird vor `"||"` zusammengafaßt. Ansonsten erfolgt die Auswertung logischer Verknüpfungen von links nach rechts.

1.4.3.10 Der bedingte Ausdruck

Wir haben bei den logischen Operatoren schon eine seltsame Möglichkeit kennengelernt, Fallunterscheidungen in Ausdrücken unterzubringen. Viel eleganter geht das mit dem Operator `"?:"`. Dies ist in C++ der einzige Operator, der gleich drei Operanden besitzt: Links vom Fragezeichen steht eine Bedingung. Ist diese Bedingung logisch wahr, so wird der Ausdruck zwischen `"?"` und `":"` ausgewertet, andernfalls ist das Ergebnis der Ausdruck hinter dem Doppelpunkt.

Ein Beispiel:

```
sign = i>0 ? +1 : (i<0 ? -1 : 0);
```

Wie der Name schon andeutet, wird hier das Vorzeichen von `"i"` berechnet. Gilt `"i>0"`, so wird nur `"+1"` ausgewertet, was dann das Ergebnis ist, andernfalls wird ausschließlich der Ausdruck hinter dem ersten `":"` ausgewertet, der ebenfalls ein bedingter Ausdruck ist. Dort wird dann noch auf `"i<0"` getestet und das Ergebnis ist dann entweder `-1` oder `0`.

Im allgemeinen sollte man bedingte Ausdrücke vermeiden und statt dessen Fallunterscheidungen mit `"if"` und `"else"` benutzen:

```
if (i>0)
  sign = +1;
else
  if (i<0)
    sign = -1;
  else
    sign = 0;
```

Dies wird allgemein - zu Recht - als übersichtlicher angesehen.

Da wir gerade bei unübersichtlichen Ausdrücken sind: Die Bindung erfolgt hier von rechts, so daß der Ausdruck hinter dem `":"` ebenfalls ein bedingter Ausdruck sein kann, ohne daß man Klammern setzen muß!

Unser Beispiel könnte man (sollte man aber nicht) also auch so schreiben:

```
sign = i>0 ? +1 : i<0 ? -1 : 0;
```

Blicken Sie da noch auf Anhieb durch? Also, ich nicht! Also Pfoten weg von solchen Dingern!

Das Ganze wird noch chaotischer, wenn hinzter dem Fragezeichen beide Operatoren L-Werte vom gleichen Typ sind. Dann ist nämlich das Ergebnis des Ausdrucks ebenfalls ein L-Wert, dessen Wert man verändern kann:

```
int i, j;
i = 13, j = 14;

++(i>j ? i : j);
```

Hier wird der Operator `"++"` entweder auf `"i"` oder `"j"` angewendet, anhängig von der Bedingung `"i>j"`. Es wird somit die größere Variable inkrementiert; in diesem Fall ist das `"j"`.

Wie Sie sehen, tragen bedingte Ausdrücke nicht gerade zur Lesbarkeit von Programmen bei. Es gibt aber durchaus Situationen, in denen normale Fallunterscheidungen mit `"if"` und `"else"` den Code unangemessen aufblähen würden, so daß man bedingte Ausdrücke manchmal nur schlecht vermeiden kann.

1.4.3.11 Zuweisungen

Den Zuweisungsoperator `"="` kennen Sie ja bereits. Der linke Operand muß ein L-Wert sein, der rechte ein Wert, der in den Typen des linken umgewandelt werden kann. Da wir bisher nur ganzzahlige Datentypen kennen, lassen sich Typen vorerst grundsätzlich ineinander umwandeln. Dabei kann es zu Überläufen kommen, wenn etwa ein zu gorßer Wert an einen schmalen Datentypen zugewiesen wird, was C aber größzügig ignoriert.

Dann gibt es noch die Zuweisungen mit Operator:

```
+=   -=   *=   %=   «=   »=   &=   |=   ^=
```

Jeder Ausdruck

```
A1 op= A2
```

ist eine Kurzschreibweise für

```
A1 = (A1) op (A2),
```

wobei `"A1"` aber nur einmal ausgewertet wird.

```
"n += 1" ist also identisch mit "++n".
```

Man beachte, daß `"i *= 2 + 3"` keineswegs `"i = i * 2 + 3"`, sondern `"i = i* (2+3)"` bedeutet.

Jeder Operator hat in C ein Ergebnis, also auch eine Zuweisung. Ihr Ergebnis ist der Wert des linken Operanden nach der Zuweisung, was dann aber kein L-Wert ist.

So ist

```
a = b = c;
```

identisch mit

```
a = (b = c),
```

was eine beliebte Aukürzung für

```
b = c; a = b;
```

Die Bindung erfolgt hier offensichtlich von rechts nach links.

1.4.3.12 Der Komma-Operator

Die Benutzung des Kommas als Operator ist, ähnlich wie die bedingten Ausdrücke, ein C-Feature, daß manchmal einige Tipparbeit erspart, die Lesbarkeit von Programmen aber alles andere als verbessert. Trotzdem sei dieser Operator der Vollständigkeit halber erwähnt.

Es ist möglich, zwei oder mehr Ausdrücke mit `" , "` aneinanderzuhängen. Sie werden der Reihe nach bewertet - es ist garantiert, daß die Auswertung von links nach rechts erfolgt, was z. B. bei `"+"` nicht versprochen wird - und das Ergebnis ist dann der Wert des letzten Ausdrucks.

Ein Beispiel:

```
int i, j;

j = (i=4, i++, i*i);
```

Hier wird zuerst der Variablen `"i"` der Wert 4 zugewiesen. Anschließend wird ihr Wert um 1 erhöht und zu guter Letzt das Quadrat von `"i"` berechnet. Dieser Wert, also 25, wird dann an `"j"` zugewiesen.

1.4.4 Fließkommatypen

1.4.4.1 Literale und Typen

Bisher haben wir uns nur mit ganzen Zahlen befaßt aber es gibt in C natürlich auch Fließkommazahlen, sogar drei Stück. Sie heißen `"float"`, `"double"` und `"long double"`. MaxonC++ benutzt nur zwei verschiedene Zahlenformate, so daß `"double"` und `"long double"` praktisch identisch sind. Formal gelten sie aber trotzdem als zwei verschiedene Datentypen.

Eine Fließkommakonstante besteht aus einem Vorkommateil, einem Komma, das aber in Wirklichkeit ein Punkt ist, einem Nachkommateil und optinal dem Exponentenzeichen `"E"` mit einem ganzzahligen Exponenten mit oder ohne Vorzeichen. Folgendes sind gültige Literale für Fließkomma- bzw. Gleitpunktzahlen:

```
17.4
26731.
.42
1.2e+3
1E10
0.05e-6
```

Wie Sie sehen, dürfen der Vorkomma- oder der Nachkommateil fehlen, aber natürlich nicht beide (welchen Wert hätte denn auch die Zahl `"."`?) Wird ein Exponent angegeben, darf auch der Dezimalpunkt weggelassen werden. Für Anfänger sei noch erklärt, daß `"1.2E+3"` die auf Computern übliche Schreibweise für `"1.2*10^3"` ist und damit `"1200.0"` entspricht.

Eine solche Fließkommakonstante hat aus unerfindlichen Gründen automatisch den Typ `"double"`. Durch Anhängen von `"f"` oder `"F"`, z. B. `"4.2f"`, wird daraus eine `"float"`-Kon-

stante. Entsprechend macht man sich mit dem Suffix `"l"` oder `"L"` eine `"long double"`-Konstante.

1.4.4.2 Interne Darstellung der Daten

Was sind überhaupt die Unterschiede zwischen den beiden (bzw. drei) Fließkommatypen? Und was sind überhaupt „Fließkommatypen"?

Eine Fließkomma- oder Gleitpunktzahl besteht aus Vorzeichen, Mantisse und Exponent. Ihr Wert ist dann

```
Vorzeichen * Mantisse * Basis^Exponent
```

Als „Basis" wählt man naheliegenderweise die Zahl 2, die Mantisse wird stets auf ein bestimmtes Format „normiert". Z. B. ist die Zahl `6` gerade `0.75 * 8`, also `0.75 * 2^3`. Die Mantisse ist hier also `0.75`, der Exponent `+3`, und das Vorzeichen natürlich positiv. Jede Zahl läßt sich theoretisch in der Form `0.xxxxx * 2^y` darstellen - praktisch stehen für die Mantisse aber nur endlich viele (Binär-)Ziffern zur Verfügung. Deshalb lassen sich Zahlen in der Regel nur als NÄHERUNG darstellen. Schon eine scheinbar so einfache Zahl wie `0.1` hat keine endliche Fließkommadarstellung, da die Mantisse ja binär und nicht dezimal dargestellt werden muß.

Ein `"float"` ist vier Bytes, also 32 Bit, breit. Davon sind 24 Bits Mantisse, 1 Bit steht für das Vorzeichen und 7 Bits für den Exponenten. Das reicht für eine Genauigkeit von ca. 6 Stellen im Bereich von 10 ^ -18 bis 10 ^ +18. Überschreitet eine Rechnung diesen Bereich, tritt ein Überlauf auf, der aber keine Folgen hat, sondern „nur" ein völlig falsches Ergebnis liefert. Alle Zahlen unter etwa 10 ^ -18, oder „1E-18", wie Computer zu sagen pflegen, betrachtet die Amiga-Arithmetik als Null, für die es eine Sonderdarstellung gibt (die Mantisse wird dabei nicht normiert, sondern einfach auf Null gesetzt).

`"float"` ist zwar schon ganz nett, aber für viele Berechnungen reicht die Genauigkeit oder der Exponentenbereich einfach nicht aus. Deshalb gibt es `"double"` bzw. `"long double"`: Diese Datentypen sind 8 Bytes bzw. 64 Bit breit. Sie setzen sich zusammen aus 52 Mantissenbits, 11 Bits für den Exponenten und natürlich wieder einem Vorzeichenbit. Die Genauigkeit der Mantisse beträgt dann fast 16 Dezimalstellen („fast", weil es in der 16ten Ziffer zu Ungenauigkeiten kommen kann) und es sind dezimale Exponenten von +308 bis -308 möglich. Die größte intern darstellbare `"double"`-Zahl ist etwa `1.79769313486232e+308`. Wenn Sie diese Zahl allerdings ausgeben wollen, kommt es dabei in den Bibliotheksfunktionen von MaxonC++ zu Überläufen, deshalb können nur maximal halb so große Zahlen mit `"cout"` ausgegeben werden. Der entsprechende Effekt tritt auch auf, wenn Sie sehr kleine Zahlen im Bereich von 1E-308 ausgeben wollen. Aber diese Einschränkungen sind wohl eher akademisch, denn in der Praxis sollte man es ohnehin vermeiden, bis an den äußersten Rand eines Wertebereichs zu gehen.

MaxonC++ benutzt für die Arithmetik die eingebauten Fließkommaroutinen des Amiga-Betriebssystems. Die `"double"`-Funktionen haben dabei die unangenehme Eigenart, daß bei einem Überlauf oder einer Division durch 0 eine Prozessor-Exception ausgelöst wird. Die integrierte Umgebung von

MaxonC++ fängt solche Exceptions zwar ab, aber wenn ein solches Programm autonom läuft, hängt sich der Task auf. Also sollten Sie in der Tat vorsichtig mit `"double"`-Operationen umgehen.

1.4.4.2 Fließkommaoperationen

Alle artihmetischen Operatoren, die Sie von den ganzzahligen Typen her kennen, arbeiten, soweit das sinnvoll ist, auch auf Fließkommadaten. Der Modulo-Operator `"%"` ist nicht zulässig, denn bei einer Fließkommadivision tritt naturgemäß kein Rest auf. Ebenso sind die Operatoren `"«"` und `"»"` mit einem Fließkommaausdruck als linkem Operanden verboten, denn `"double"` und `"float"` haben ja intern ein etwas kompilziertes Format, und es würde keinen Sinn machen, irgendwelche Mantissenbits in den Exponenten hineinzuschieben. Auch die bitweisen Verknüpfungen `"&"`, `"|"` und `"^"` sind aus demselben Grund für Fließkommaoperanden gesperrt. Folglich sind auch `"%="`, `"«="`, `"»="`, `"&="`, `"|="` und `"^="` nicht erlaubt.

Ein Fließkommaausdruck kann auch als „Bedingung" in einer bedingten Anweisung auftreten. Der Ausdruck ist dann „wahr", wenn er nicht 0.0 ist. Ebenso kann ein Fließkommaausdruck auch Operand der logischen Operatoren `"||"` und `"&&"` sein. Das Ergebnis der logischen Operatoren ist dann aber trotzdem `"int"`.

1.4.5 Auswertung von Ausdrücken

Spätestens jetzt, wo wir zwei grundsätzlich verschiedene Gruppen von Datentypen (nämlich ganzzahlige und Fließkommatypen) kennen, kann ich Ihnen die genauen Auswertungsregeln nicht ersparen. Vor allem werden Sie bestimmt wissen wollen, was geschieht, wenn Operatoren auf Operanden unterschiedlicher Typen arbeiten.

Betrachten wir einmal einen Ausdruck wie `"x + y"`. Hier gelten dieselben Regeln wie bei den meisten anderen binären Operatoren:

- Ist ein Operand `"long double"`, so wird der andere in `"long double"` umgewandelt. Der Operator wird dann in `"long double"` ausgewertet und das ist auch der Typ des Ergebnisses; andernfalls:
- Ist ein Operand vom Typ `"double"`, so wird der Operator entsprechend in `"double"` ausgewertet, sonst:
- Gilt dasselbe analog für `"float"`.

Also wird bei `"17.0 + 4"`, wo der linke Operand `"double"` ist, die 4 ebenfalls nach `"double"` konvertiert, und das Ergebnis ist `"double"`.

Ist aber keiner der beiden Operanden ein Fließkommaausdruck, so gelten die Ganzzahl-Regeln:

Zuerst einmal werden Operanden der `"char"`- und `"short"`-Typen (gleich ob vorzeichenbehaftet oder vorzeichenlos) in `"int"` umgewandelt. Der Compiler lehnt es nun einmal ab, sich mit Zahlen zu befassen, die weniger als 32 Bit breit sind.

- Wenn nun einer der Operanden `"unsigned long"` ist, so wird der Ausdruck in `"unsigned long"` ausgewertet; wenn nicht:
- Ist ansonsten einer der Operanden `"long"`, so erfolgt die Auswertung in `"long"`, andernfalls:
- Falls ein Operand `"unsigned int"` ist, wird auch in eben diesem Datentyp gerechnet.

Wenn alle diese Bedingungen nicht zutreffen, wird der Ausdruck in `"int"` berechnet.

Ein beliebter Fehler ist, `"1/2"` zu schreiben. Wenn Sie sich die obigen Regeln einmal ansehen, werden Sie feststellen, daß hier in `"int"` gerechnet wird. Da aber bei der Integerdivision grundsätzlich das Ergebnis auch `"int"` ist und dementsprechend abgerundet wird, ist `"1/2"` nichts anderes als `"0"`.

Folgende Schreibweisen würden hingegen zum gewünschten Ergebnis, nämlich dem `"double"`-Wert `"0.5"`, führen:

```
1.0/2
1/2.0
1.0/2.0
```

Die hier beschriebenen Umwandlungsregeln gelten für die meisten binären Operatoren. Dazu gehören nicht die logischen Operatoren `"||"` und `"&&"`, denn deren Ergebnis ist immer `"int"` (genaugenommen 0 oder 1) und eine Umwandlung der Operanden erfolgt nicht, denn es kommt ja gar nicht auf deren Wert an, sondern nur darauf, ob ihr Wert Null ist oder nicht.

Bei den Vergleichsoperatoren werden zwar die Operanden genau wie oben beschrieben auf einen einheitlichen Typen gebracht, aber das Ergebnis ist auch hier stets ein logischer `"int"`-Wert.

Dabei kann es durchaus zu Überraschungen kommen, wenn vorzeichenlose und vorzeichenbehaftete Datentypen gleicher Größe verglichen werden:

```
int i;
unsigned int u;

i = -1;
u = +1;

cout « (i > u);
```

Verblüffenderweise ist das Ergebnis hier `"1"`, d. h. `"-1"` ist größer als `"+1"`. Der Grund ist ganz einfach der, daß hier im vorzeichenlosen Bereich verglichen wird. Die `"int"`-Zahl `"-1"` wird also un `"unsigned"` umgewandelt (was ja eigentlich gar nicht geht) und entspricht dort `"0xffffffff"`, also der größten in `"unsigned"` überhaupt darstellbaren Zahl. Grund für diese komische Umwandlung ist die sog. 2-Komplement-Darstellung für negative Zahlen, wie sie heute auf praktisch allen Rechnern angewandt wird.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß bei den Zuweisungsoperatoren selbstverständlich die obigen Regeln nicht gelten. Bei der Zuweisung `"="` wird der rechte Operand in den Typen des

linken umgewandelt. Dabei dürfen C-Compiler eine Warnung ausgeben, wenn ein Fließkommawert an eine ganzzahlige Variable zugewiesen wird.

Bei den zusammengesetzten Operatoren wie `"+="` oder `"*="` gilt dann wieder, daß `"a op= b"` absolut identisch mit `"a = a op b"` ist. So ist

```
int i;

i *= 0.5;
```

durchaus (bedingt) sinnvoll: es wird `"i * 0.5"` wie oben beschrieben in `"double"` ausgewertet, das Ergebnis wieder nach `"int"` gewandelt und an `"i"` zugewiesen.

Da aber so gut wie jede Typumwandlung Rechenzeit kostet (Ausnahme: Umwandlung zwischen Ganzzahltypen gleicher Breite), ist dies auch ein Beispiel für schlechte Programmierung, denn

```
i /= 2;
```

oder (bei manchen Compilern sogar noch besser)

```
i >>= 1;
```

würde das gleiche Ergebnis viel schneller liefern.

1.4.6 Explizite Typumwandlungen

Da wir gerade dabei sind, mit Datentypen zu jonglieren, möchte ich noch kurz ein Thema anreißen, das C berüchtigt gemacht hat, aber so schlimm nun auch wieder nicht ist: die expliziten Typkonvertierungen, auch „casting" genannt.

Sie erinnern sich wahrscheinlich noch an das Beispiel, bei dem wir den Compiler gezwungen haben, `"1/2"` als Fließkommaberechnung auszuwerten: es genügte, eine der beiden Konstanten als `"double"`-Literal zu schreiben, also beispielsweise `"1.0/2"`. Aber was geschieht nun, wenn wir es mit Variablen statt Konstanten zu tun haben, etwa so:

```
int i, j;
double d;

i = 1;
j = 2;

d = i/j;
```

Der Ausdruck `"i/j"` wird streng nach den C-Typregeln erst als `"int"` ausgewertet, was also wieder `"0"` ergeben würde, und erst dann wird der Quotient nach `"double"` gewandelt, was offensichtlich nicht erwünscht ist.

Natürlich könnte man die C-Sprachdefinition ändern, etwa so, daß Ausdrücke, die an `"double"` zugewiesen werden, auch in `"double"` ausgewertet werden. Das erscheint auf kurze Sicht als eine

sinnvolle und praxisgerechte Definition. Aber die Typregeln für Operatoren mit zwei Operanden sind schon kompiziert genug, und wenn man diese Regeln dann auch noch vom „gewünschten" Ergebnistyp abhängig macht, werden sie nur noch komplizierter, und dem Programmierer wird das Leben keinesfalls erleichtert.

Also zurück zu unserem Problem. Wir lösen es im Prinzip genau wie beim `"1/2"`-Beispiel: wir sagen dem Compiler, daß (wenigstens) einer der Operanden in ein `"double"` verwandelt wird. Und genau dazu dienen in C die „casts".

Die Sytnax ist zunächst denkbar einfach:

Ein Cast sieht aus wie „(typ) ausdruck", d. h. man schreibt erst den Ziel-Datentyp in runde Klammern und setzt dann den entsprechenden Teilausdruck dahinter.

Also sieht unsere Division folgendermaßen aus:

```
d = (double) i / j;
```

Ein Cast bindet so stark wie ein unärer Operator, aber von rechts nach links. Also ist

```
(double)i++ + j
```

identisch mit

```
( (double) (i++)) + j
```

Auch hier kann man natürlich mit Klammern eingreifen, z. B.

```
(int)(i+j)
```

In C++ gibt es eine alternative Schreibweise für Typwandlungen, die allgemein als lesbarer angesehen wird:

```
int(x)
```

Bei dieser Schreibweise wird also der Typname ohne Klammern geschrieben, während der umzuwandelnde Ausdruck geklammert wird. Bei einfachen Typnamen, wie sie bisher nur besprochen wurden, ist dies eine feine Sache. Wir werden aber bald Beschreibungen für abgeleitete Datentypen kennenlernen, und dann kommt man nicht mehr um die alte Cast-Form herum.

1.4.7 Initialisierungen

Oft hat man, wenn man eine Variable deklariert, schon einen passenden Anfangswert dafür zur Hand, was dann etwa so aussehen könnte:

```
int i, j;
i = 26, j = 731;
```

Weil diese Situation so oft vorkommt, gibt es in C die Möglichkeit der „Initialisierung" von Variablen. Das heißt ganz einfach, daß bei der Variablendeklaration ein Startwert gleich zugewiesen wird, etwa so:

```
int i = 26, j = 731;
```

Für Initialisierungen gelten in C die gleichen Regeln wie bei einer normalen Wertzuweisung. C++ hat einige Features auf Lager, wobei das nicht so ist, aber das werden wir noch beizeiten sehen.

Ein weiterer Unterschied zwischen C und C++: In C müssen in einem Block, also z. B. einer Funktion, immer zuerst die Variablendeklarationen und dann die Anweisungen stehen. In C++ darf man beides nach Belieben mischen:

```
void main()
{
   cout « "Bitte eine Zahl eingeben: ";  // Anweisung
   int i;              // Deklaration
   cin » i;          // Anweisung
   int j = i*i;   // Deklaration
   cout « "Das Quadrat davon ist " « j;  // Anweisung
}
```

Der angenehme Effekt dabei ist, daß man Variablen erst dann deklarieren muß, wenn man einen sinnvollen Wert hat, um sie zu initialisieren. Das hilft, Fehler zu vermeiden, denn es ist im Beispiel nicht möglich, versehentlich `"j"` zu benutzen, bevor es initialisiert ist - ganz einfach deshalb, weil es da noch gar nicht bekannt ist.

1.5 Anweisungen

1.5.1 Bedingungen und Verzweigungen

Zu den wichtigsten Strukturelementen eines Programms gehören sicher Fallunterscheidungen. Im Prinzip gehören bedingte Ausdrücke auch dazu: In Abhängigkeit von einem logischen Ausdruck wird entschieden, welcher Teil eines Ausdrucks ausgewertet werden soll.

Die `"if"`-Anweisung dient zu demselben Zweck, aber auf höherer Ebene: Hier wird zwischen ganzen Anweisungen verzweigt. Ein zugegebenermaßen nicht sehr gehaltvolles Beispiel:

```
#include <stream.h>

void main()
{
   cout « "Bitte eine Zahl eingeben: ";
   int Ein, Aus;
   cin » Ein;

   if (Ein % 2 == 0)
   {
      cout « "Die Zahl ist gerade.\n";
```

```
    Aus = Ein/2;
    cout « "Die Hälfte von " « Ein « " ist " « Aus;
  }
  else
    cout « Ein « " ist ungerade.";
}
```

Eine Zahl ist bekanntlich gerade, wenn sie sich ohne Rest durch 2 teilen läßt, d. h. wenn „Zahl % 2" gerade Null ist. Dies ist die Bedingung, nach der im Beispiel verzweigt wird. Wie Sie hier sehen, muß die Bedingung hinter dem Wortsymbol `"if"` immer in runden Klammern stehen. Als Bedingung ist ein beliebiger numerischer Ausdruck (oder auch ein Zeigerausdruck, wie wir später kennenlernen werden) erlaubt. In C gibt es schließlich, wie bereits erwähnt, keine Trennung zwischen logischen und numerischen Ausdrücken.

Nur wenn die Bedingung wahr (d. h. nicht Null) ist, wird die folgende Anweisung hinter dem `"if"` ausgeführt. Es ist möglich, mehrere Anweisungen mit geschweiften Klammern zu einer einzigen zusammenzufassen, wie es in unserem Beispielprogramm geschehen ist.

Hinter den `"if"`-Zweig einer Fallunterscheidung kann - muß man aber nicht - noch einen `"else"`-Teil setzen, der ausgeführt wird, wenn die Bedingung eben nicht wahr ist. Er besteht aus dem Wortsymbol `"else"`, gefolgt von einer Anweisung. Auch hier können natürlich mehrere Einzelanweisungen mit geschweiften Klammern zusammengefaßt werden.

Es gibt also genaugenommen zwei `"if"`-Anweisungen: Wenn ein `"else"`- Zweig angegeben wird, entscheidet die Bedingung darüber, welche der beiden Alternativen ausgeführt wird. Ohne `"else"` hängt von der Bedingung ab, ob der `"if"`-Zweig ausgeführt wird. In allen Fällen wird anschließend hinter der gesamten `"if"`-Anweisung weitergearbeitet.

Da eine `"if"`-Anweisung natürlich selbst eine Anweisung ist, kann man Fallunterscheidungen selbstverständlich auch ineinander verschachteln. Es gibt hier übrigens eine kleine „Zweideutigkeit":

```
if (Bedingung1)
if (Bedingung2)
  IfTeil;
else
  ElseTeil;
```

Zu welchem `"if"` gehört nun das `"else"`? Es wurde festgelegt, daß es zum zweiten `"if"` gehört. Also ist obige Anweisung identisch mit

```
if (Bedingung1)
{
  if (Bedingung2)
    IfTeil;
  else
    ElseTeil;
}
```

Durch entsprechende Klammerung kann man das `"else"` auch an das erste `"if"` binden:

```
if (Bedingung1)
{
  if (Bedingung2)
    IfTeil;
}
else
  ElseTeil;
```

Am Rande sei noch darauf hingewiesen, daß es dem Compiler absolut egal ist, wie und ob Sie Anweisungen einrücken. Der Programmierer tut dies ausschließlich für sich selbst und wer noch so alles den Quelltext lesen soll. Wenn man also schreiben würde:

```
if (Bedingung1)
  if (Bedingung2)
    IfTeil;
else
  ElseTeil;
```

wäre für den menschlichen Leser klar, was gemeint ist: das `"else"` soll zum ersten `"if"` gehören. Dem Compiler ist das vollkommen egal, für ihn gelten auch nur hier seine geradezu bürokratischen Vorschriften, nach denen das `"else"` nun mal zum zweiten `"if"` gehört, und damit basta. Seien Sie also beim Verschachteln von Verzweigungen vorsichtig, im Zweifelsfall sollten Sie immer Klammern setzen, damit unmißverständlich klar wird, was wozu gehört. Das ist also ganz analog zum empfohlenen Setzen zusätzlicher runder Klammern in komplizierten Ausdrücken.

1.5.2 Anweisungen, Deklarationen und Blöcke

Leider wird es wieder einmal Zeit, daß wir uns in Formalitäten ergehen (man könnte fast glauben, das Programmieren sei von Beamten erfunden worden...). Zunächst soll noch einmal präzisiert werden, was eine „Anweisung" ist. Wir kennen nämlich inzwischen vier verschiedene Arten davon:

1. Ausdrucks-Anweisungen: Sie bestehen aus einem Ausdruck, der ausgewertet wird, gefolgt von einem Semikolon. Ein Ausdruck ist im wesentlichen alles das, was in 1.4 beschrieben wurde, nämlich Variablen und Konstanten, die durch Operatoren verknüpft werden. Auch ein trivialer Ausdruck wie „42" ist eine Anweisung, bei der aber nichts geschieht. MaxonC++ erzeugt nicht einmal Code für so etwas. Aber es gibt ja durchaus Operatoren, die Auswirkungen auf ihre Operanden haben oder sonst eine Operation einschließen, etwa der Zuweisungsoperator `"="` oder die Ein- und Ausgabeoperatoren `"«"` und `"»"`.

2. Die `"if"`-Anweisung: evtl. mit `"else"`-Teil. Das Ganze Gebilde gilt dann nachher als eine einzelne Anweisung. Im folgenden werden wir noch viele ähnliche Strukturanweisungen betrachten, insbesondere Schleifenanweisungen.

3. Eine Deklaration gilt in C++ ebenfalls als Anweisung. In C ist das anders: Hier müssen Deklarationen und Anweisungen streng voneinander getrennt werden, nämlich dergestalt, daß in einem „Block" immer zuerst alle Deklarationen und dann die Anweisungen stehen müssen.

4. Eine Block-Anweisung: Bisher haben wir sie lässig damit abgetan, daß mehrere Anweisungen mit geschweiften Klammern "`{ ... }`" zusammengefaßt werden. Das ist aber bei weitem nicht alles, und darum soll dies im folgenden näher unter die Lupe genommen werden.

Zunächst einmal ist der Anweisungsteil einer Funktion, z. B. "`main`", denn andere Funktionen haben wir bis hier noch nicht gehabt, nichts anderes als ein „Block", und formal ist das eine Folge von Anweisungen (die in C++ ja, wie schon wiederholt gesagt, auch Deklarationen einschließen).

Vor allem aber hat ein Block einen eigenen „Gültigkeitsbereich", oder auf neudeutsch „Scope". Das bedeutet: Namen, die innerhalb eines Blocks deklariert werden, insbesondere Variablen - sind außerhalb gar nicht bekannt.

Ein Beispiel aus der Praxis:

```
#include <stream.h>

void main()
{  // Anfang des Haupt-Blocks der Funktion "main"

   cout « "Wollen Sie in i)nt oder d)ouble rechnen? ";
   char i;
   cin » i;

   if (i == 'i')
   {  // Hier beginnt ein Block
      cout « "Ihre Eingabe war: " « i « "\n";
      int i, j, erg;
      cout « "Bitte zwei ganze Zahlen: ";
      cin » i » j;
      erg = i/j;
      cout « "Quotient: " « erg;
   }  // Das ist das Ende eines Blocks

   else
      if (i == 'd')
      {  // Noch ein Block
         cout « "Danke für Ihre Eingabe " « i « ".\n";
         double x, y, erg;
         cout « "Bitte zwei Zahlen: ";
         cin » x » y;
         erg = x/y;
         cout « "Quotient: " « erg;
      }  // Ende dieses Blocks
      else
      {
         cout « "Das war eine falsche Eingabe.";
      }

   cout «    "\nProgrammende - Variable \"i\
               " hat immer noch den Wert " « i;
   // Die einzige Variable, die an dieser Stelle bekannt ist
```

```
} // Funktionsende
```

Bei diesem kleinen Programm hat der Benutzer die Wahl, ob er ganzzahlig oder in Fließkomma dividieren will. Dazu wird zuerst ein Zeichen abgefragt, das dann in der `"char"`-Variablen `"i"` abgelegt wird. Nun folgt eine Verzweigung, deren `"if"`-Teil ein eigener Block ist.

Zunächst wird hier die `"char"`-Variable `"i"` ausgegeben, nur um zu zeigen, daß Bezeichner aus höheren Blöcken durchaus in tiefergelegenen (nicht „tiefergelegten", Manta-Witze sind schließlich total out) Blöcken bekannt sind und benutzt werden dürfen. Aber nun kommt etwas Überraschendes: In der folgenden Deklarationszeile wird unter anderem eine neue `"i"`-Variable definiert, diesmal sogar als `"int"`!

Das gehört zum Konzept der „Gültigkeitsbereiche": Bezeichner dürfen in verschiedenen Bereichen durchaus für ganz verschiedene Zwecke definiert und benutzt werden. In diesem Fall überdeckt das neue `"i"` das alte, so daß wir von jetzt an nur noch das neue `"i"` aus dem inneren Block benutzen können. Außerdem werden zusätzlich noch die Variablen `"j"` und `"erg"` definiert.

Der innere Block endet bei den geschweiften Klammern, und wir befinden uns nun wieder auf der Ebene des äußeren Blocks. Das bedeutet vor allem, daß die „innen" deklarierten Variablen `"i"`, `"j"` und `"erg"` jetzt nicht mehr bekannt sind und nicht mehr benutzt werden können. Genaugenommen existieren diese Variablen überhaupt nicht mehr, ihr Speicherplatz könnte also prinzipiell wiederverwendet werden. Dafür hat `"i"` jetzt wieder die alte Bedeutung, nämlich als `"char"`-Variable mit der Benutzereingabe.

Nun ist da noch der `"else"`-Teil, ebenfalls mit einem eigenen Scope. Hier werden die Variablen `"x"`, `"y"` und `"erg"` dazudefiniert. Das zuvor definierte `"erg"` war ja „lokal" zu einem inneren Block und deshalb auf Ebene der Funktion überhaupt nicht bekannt. Also ist es in diesem neuen Block erst recht nicht bekannt und kann getrost neu definiert werden, diesmal als `"double"`.

Und dann hat auch noch der `"else"`-Teil der zweiten `"if"`-Anweisung einen eigenen Block. Weil dieser nur eine einzige Anweisung enthält und keinerlei neue Bezeichner definiert werden, wäre es überhaupt nicht nötig gewesen, hier einen neuen Block zu definieren.

Die letzte `"cout"`-Zeile gehört wieder zum obersten Block der Funktion. Die einzige Variable, die an dieser Stelle bekannt ist, ist `"i"`. Alle Variablen aus tiefer liegenden Blöcken sind hier nicht mehr definiert. Nebenbei bemerkt wird hier auch demonstriert, wie man doppelte Anführungszeichen in einen String einschließt, indem man einen Backslash davorstellt.

Als Anweisung hinter `"if"` und `"else"` darf keine einzelne Deklaration stehen, z. B.

```
if (Bedingung)
  int i; // Error
else
  int j; // Error
```

Das ist ja auch klar, denn was soll obige Anweisung denn auch wohl bedeuten? Sollen `"i"` und `"j"` nur in Abhängigkeit von einer Bedingung existieren, oder wie oder was oder warum auch nicht? Mit einem Block ist das natürlich egal, etwa

```
if (Bedingung)
   { int i; }
else
   { int j; }
```

Hier sind `"i"` und `"j"` nur in ihren kleinen Blöcken bekannt, so daß die Gültigkeit wieder offensichtlich ist.

Übrigens: In C muß hinter jeder Anweisung ein Semikolon stehen. Die einzige Ausnahme ist ein Block, hier darf man das `" ; "` weglassen. Manchmal, z. B. zwischen `"if"` und `"else"`, muß man es sogar unterschlagen, denn ein überflüssiges Semikolon gilt in der C-Syntax als Leeranweisung, so daß bei

```
if (Beding)
   { Block; };          // letzteres Semikolon überflüssig!
else
   usw;
```

gleich zwei Anweisungen zwischen `"if"` und `"else"` stehen, was ja nicht zulässig ist.

1.5.3 Schleifen

1.5.3.1 Die „while"-Anweisung

Zu den unverzichtbaren Elementen der Programmierung gehören Schleifenstrukturen. Dabei wird allgemein eine Folge von Anweisungen wiederholt ausgeführt, bis eine wie auch immer geartete Endbedingung erfüllt ist.

Die elementarste Schleifenform ist in C die `"while"`-Schleife. Sie hat die Form

```
while (Bedingung) Anweisung;
```

Die „Anweisung" wird solange wiederholt, wie die „Bedingung" wahr (ungleich Null) ist. Möglicherweise ist die Bedingung von Anfang an nicht erfüllt - dann wird der Schleifenrumpf überhaupt nicht ausgeführt.

Ein Beispiel:

```
#include <stream.h>

main()
{
   int i = 1, sum = 0, max = 100;
   while (i <= max)
   { sum += i;
     i++;
   }
```

```
   cout « "Ergebnis: " « sum;
}
```

Die Variable `"i"` wird so lange von `0` hochgezählt, bis ihr Wert `100` überschreitet. Dabei werden die Werte jeweils in `"sum"` aufaddiert. Als Ergebnis wird dann die Summe der ganzen Zahlen von `1` bis `100` ausgegeben, nämlich `5050`.

Echte C-Freaks hätten übrigens die Schleife abgekürzt:

```
while (i <= max)
   sum += i++;
```

Mathematiker wissen natürlich, daß man das Ergebnis auch direkt als

```
sum = max * (max+1) / 2;
```

berechnen könnte.

1.5.3.2 Die „for"-Schleife

Die Zählschleife tritt so häufig auf, daß es dafür eine verkürzte Schreibweise gibt: die `"for"`-Schleife. Sie hat die Form

```
for (Anweisung1; Bedingung; Ausdruck)
   Anweisung2;
```

Die erste Anweisung wird einmal zu Anfang ausgeführt. Dann wird die Schleife so lange ausgeführt, wie die Bedingung erfüllt ist, wobei der `"Ausdruck"` nach jedem Schleifendurchlauf ausgewertet wird.

Sie entspricht also

```
Anweisung1;
   while (Bedingung)
   {
   Anweisung2;
   Ausdruck;
   }
```

Dementsprechend können wir unser kleines Beispiel umschreiben:

```
#include <stream.h>

main()
{
   int i, sum = 0, max = 100;

   for (i=1; i <= max; i++)
      sum += i;

   cout « "Ergebnis: " « sum;
}
```

Im Gegensatz z. B. zu Pascal ist "for" in C ein sehr allgemeines Sprachkonstrukt. Man kann wegen der Verwandtschaft mit der "while"-Schleife weit mehr damit machen, als nur eine Variable rauf- oder runterzuzählen. Die Einsatzmöglichkeiten von "for" sind genauso vielfältig wie die von "while".

Bei "for" sind alle drei Ausdrücke bzw. Anweisungen in den Klammern optional. So ist "for (;;) Anweisung;" identisch mit einer endlosen Schleife (eine fehlende Schleifenbedingung wird als „falsch" betrachtet), und "for(;Bedingung;) Anweisung" entspricht vollkommen der "while"-Schleife.

In C++ darf man eine Schleifenzählvariable auch innerhalb der "for"-Startanweisung deklarieren:

```
for (int i=0; i != 10; --i)
   { BlaBla; }
```

Die Variable gehört dann aber zum Scope, in dem die "for"-Schleife liegt, und nicht zum Gültigkeitsbereich des Schleifenrumpfs. Deshalb dürfen Sie bei einer nachfolgenden Schleife "i" zwar wieder benutzen, aber nicht noch einmal deklarieren.

1.5.3.3 Die „do"-Schleife

Die dritte Schleifenkonstruktion von „C" ist die "do"-Anweisung. Bei "while" und "for" wird die Schleifenbedingung schon vor dem ersten Schleifendurchlauf getestet, und wenn sie von Anfang an „nicht erfüllt" ist, wird die Schleife keinmal durchlaufen. Bei "do" dagegen wird die Bedingung erst am Schleifenende und somit nach der ersten Ausführung des Schleifenrumpfs geprüft. Deshalb wird eine "do"-Schleife immer mindestens einmal ausgeführt.

Die "do"-Anweisung hat die Form:

```
do
   Anweisung;
while (Bedingung);
```

Zwischen "do" und "while" darf auch hier nur eine einzige Anweisung (bzw. ein Block) stehen. Bei der "repeat"-Anweisung in Pascal, die in etwa dem "do-while" von C entspricht, bilden ja "repeat" und "until" eine Klammerung um beliebig viele Anweisungen.

Auch die "do"-Schleife wird durchlaufen, so lange die Bedingung erfüllt ist (die "repeat"-Anweisung in Pascal wird ausgeführt, so lange sie nicht erfüllt ist).

Ein typisches Beispiel für "do" sind Wiederholungen von Benutzerfunktionen, etwa so:

```
char c1;
do
{
   DatenDrucken; // Irgendwelches Zeugs auf den Drucker ausgeben
   cout « "Soll ich die Daten noch einmal ausdrucken? (j/n) ";
   cin » c1;
}
while (c1 == 'j');
```

Im Gegensatz zur `"while"`-Schleife darf die Variable „c1", die in der Schleifenbedingung benutzt wird, vor dem ersten Schleifendurchlauf undefiniert sein, denn die Bedingung wird ja erst nach der ersten Ausführung des Schleifeninhalts getestet.

1.5.4 Sprünge

1.5.4.1 Sinn und Unsinn von „goto"

Schleifenstrukturen sind die wichtigsten Elemente strukturierter Programmierung. Es gibt aber Gelegenheiten, bei denen man es nur schwer umgehen kann, wie in alten FORTRAN- oder BASIC-Zeiten mit der `"goto"`-Anweisung quer durch ein Programm zu springen.

Das Ziel eines `"goto"`-Sprungs wird in C durch ein „Label", das durch einen Bezeichner repräsentiert wird, bestimmt. Eine `"goto"`-Anweisung hat dann die Form

```
goto Label;
```

Die Sprungmarke kann man in der Form

```
Label: IrgendEineAnweisung;
```

vor eine beliebige Anweisung stellen. Dabei bilden dann die Marke und die nachfolgende Anweisung zusammen formal eine einzige Anweisung.

Solche Sprünge ermöglichen dann wirklich ganz scheußliche Programmabläufe. Ein Beispiel:

```
void main()
{
  int i, j=0, s;

  if (EgalWas == IrgendWas)
  {
    i = 0;
    goto Dahin;
  }

  for (i=10; i <= 20; ++i)
  {
    s = i*i;
    Dahin: j += s;
  }
}
```

Die ganze schöne Struktur der `"for"`-Schleife geht hier vor die Hunde: Wenn die obskure Bedingung `"EgalWas == IrgendWas"` erfüllt ist, wird `"i"` mit `0` initialisiert und ohne jede Gnade in die `"for"`-Schleife eingesprungen. Dabei wird auch die Schleifenanfangsanweisung übergangen, so daß jetzt nicht von 10, sondern von 0 aus gezählt wird. Dann benutzen wir zu allem Überfluß auch noch die Variable `"s"`, die gar keinen definierten Wert besitzt, so daß `"j"` hier einen wahrschein-

lich unsinnigen Wert erhält - ein typischer Bug, wie er durch unüberlegte `"goto"`'s oft verursacht wird.

Jeder Bezeichner hat bekanntlich einen Gültigkeitsbereich. Die Sprungmarke `"Dahin"` wird im obigen Programm aber scheinbar in einem Block definiert und in einem ganz anderen benutzt. Das scheint aber wirklich nur so, denn die Labels einer Funktion haben einen eigenen Scope. Sie kollidieren nicht mit anderen Bezeichnern der Funktion - man könnte also die Verwirrung komplett machen und denselben Namen für eine Variable und ein Label wählen - und sind in der gesamten Funktion gleichermaßen bekannt. Diese Verletzung der gewohnten Gültigkeitsregeln stellen einen Grund mehr da, auf Sprünge möglichst zu verzichten.

Immerhin wird bei `"goto"` aber ganz scharf darauf geachtet, daß keine Initialisierung übersprungen wird:

```
goto Dahin;
for (i=10; i <= 20; ++i)
{ int s = i*i;
  Dahin: j += s;// Error: Jump past initialisation of "s"
}
```

Hier wird bei der Deklaration des Labels ein Fehler wie **„Jump past initialisation of object 'i'"** gemeldet, d. h. der Compiler stört sich daran, daß hinter die Initialisierung einer Variablen gesprungen wird. Das kommt daher, daß eine Initialisierung keine normale Wertzuweisung ist: Jedes Datenobjekt kann genau einmal, bei seiner Deklaration, initialisiert werden. Nun wird aber mit dem `"goto"` die Initialisierung von `"i"` übersprungen. Sinn und Zweck einer Initalisierung ist aber, daß Variablen von Anfang an einen „sinnvollen" Wert haben, deshalb wurde es generell verboten, auf irgendeine Art eine Initialisierung zu übergehen. Alternativ könnte man vielleicht festlegen, daß der Compiler solche Deklarationen irgendwie „herauszieht", so daß die Variable auf jeden Fall noch vor dem `"goto"` initialisiert wird. Der dazu nötige Aufwand stünde aber in keinerlei Relation zum Nutzen, und so hat man es beim schlichten Verbot solcher Strukturen belassen.

Es ist aber sinnvollerweise erlaubt, Initialisierungen von Variablen, die beim Sprungziel sowieso nicht mehr bekannt sind, zu überspringen:

```
for (Dieses; und; jenes)
{  i = IrgendEinWert;
   if (i > 1000)
      goto NotAusstieg;
   long TotalEgal = i*i;
}
NotAusstieg:
```

Die Initialisierung von `"TotalEgal"` darf getrost übersprungen werden, da diese Variable bei der Sprungmarke `"NotAusstieg"` nicht bekannt ist und folglich `"total egal"` ist, ob sie nun einen sinnvollen Wert hat oder nicht.

Abschließend ist zu sagen, daß man Sprünge nur verwenden sollte, wenn der normale Programmablauf gestört wird und es deshalb nötig ist, aus einer Struktur auszuspringen.

1.5.4.2 „break" und „continue"

Im letzten Beispiel wurde ein `"goto"` benutzt, um eine Schleife zu verlassen. Das geht in C aber auch eleganter: mit der `"break"`-Anweisung.

Ihre Syntax ist denkbar einfach: `"break;"`.

Diese Anweisung beendet sofort die nächsthöhere `"while"`-, `"for"`-, `"do"`- oder `"switch"`-Anweisung (letztere wird weiter unten behandelt). Die Programmausführung wird dann hinter der jeweiligen Strukturanweisung fortgesetzt, so daß `"break"` einem `"goto"` zu einem imaginären Label hinter der Schleife entspricht.

Unser letztes Beispiel läßt sich eleganter (jedenfalls unter Vermeidung eines `"goto"`) so schreiben:

```
for (Dieses; und; jenes)
{ i = IrgendEinWert;
  if (i > 1000)
    break;
  long TotalEgal = i*i;
}
```

Es gibt tatsächlich Situationen, bei denen man weder am Anfang noch am Ende einer Schleife feststellen kann, ob das Ende der Schleifenausführung erreicht sein soll, und diese Entscheidung vielleicht sogar an MEHREREN Stellen im Schleifenrumpf getroffen werden muß. Dann bietet sich folgende Konstruktion an:

```
for(;;)// eigentlich eine Endlosschleife
{ EinPaarAnweisungen;
  if (IrgendWas)
    break;
  NochEinigeAnweisungen;
  if (WasWeissIch)
    { break };
  UndNochWas;
  // usw..
}
```

Wie Sie beim zweiten `"if"` erkennen, kann `"break"` durchaus aus mehreren Blöcken auf einmal ausspringen. Es bezieht sich eben, wie gesagt, auf die nächsthöhere Schleifen- oder `"switch"`-Anweisung.

Mit `"break"` kann man die meisten `"goto"` auf halbwegs strukturierte Weise ersetzen. Und es gibt noch eine weitere Anweisung, mit der man Sprünge vermeiden kann: `"continue"`.

Auch diese Anweisung hat eine simple Syntax, nämlich `"continue;"`. Sie bezieht sich auf die nächsthöhere Schleifenanweisung und setzt die Programmausführung am Anfang des Schleifenrumpfs fort, überspringt also den gesamten Rest des Rumpfs. Bei

```
for(Start; Bedingung; Ausdruck)
{
   Anweisung1;

   continue;

   Anweisung2;

   HierKoennteEinLabelStehen:
}
```

wird nach dem `"continue"` der `"Ausdruck"` ausgewertet, also z. B. die Schleifenzählvariable inkrementiert, die `"Bedingung"` geprüft und dementsprechend die Schleife fortgesetzt oder auch nicht. Ergo entspricht `"continue"` hier einem `"goto HierKoennteEinLabelStehen"`.

Bei `"while"` sieht das Ganze ähnlich aus:

```
while (Bedingung)
{
   Anweisung1;

   continue;

   Anweisung2;

   // Ende des Schleifenrumpfs
}
```

`"continue"` übergeht `"Anweisung2"` und geht direkt ans Ende des Schleifenrumpfs bzw. zu der Stelle, an der die `"Bedingung"` getestet wird.

Auch bei `"do"` ist die Bedeutung von `"continue"` einleuchtend:

```
do
{
   Anweisung1;

   continue;

   Anweisung2;

   // Ende des Schleifenrumpfs
} while (Bedingung);
```

Auch hier wird zu der Stelle gesprungen, an der die Schleifenbedingung ausgewertet wird.

Mit `"break"` und `"continue"` dürfte es möglich sein, die meisten `"goto"`-Anweisungen zu ersetzen. Leider gibt es kein „sauberes" Sprachkonstrukt, das die zweit- oder dritthöhere Schleife verläßt, so daß man dann doch auf ein `"goto"` zurückgreifen muß.

1.5.5 Vielfachverzweigungen

Bisweilen muß man in Abhängigkeit von einem Wert verzweigen, und das nicht, wie bei einem einfachen `"if"`, zwischen zwei, sondern zwischen etlichen Programmstellen. Die `"switch"`-Anweisung stellt eine bequeme und schnelle Abkürzung für Strukturen der Art

```
if (val == Wert1)
   { ... }
else if (val == Wert2)
   { ... }
else if (val == Wert3)
   { ... }
else if (val == Wert4)
   { ... }
else ...
```

dar. Dabei muß `"val"` allerdings ein ganzzahliger Ausdruck sein, und bei `"Wert1"`, `"Wert2"` usw. muß es sich um konstante Ausdrücke handeln, die also bereits vom Compiler und nicht erst zur Laufzeit des Programms ausgewertet werden können.

Eine `"switch"`-Anweisung hat die Form

```
switch (val)
   Anweisung;
```

wobei man als `"Anweisung"` im allgemeinen wohl einen ganzen Block wählen wird. In diese Anweisung setzt man Sprungmarken der Form

```
case Wert:
```

Beim `"switch"` wird dann in Abhängigkeit von `"val"` zum zugehörigen `"case"` verzweigt.

Ein Beispiel:

```
cout « "Daten L)aden, S)peichern, D)rucken oder P)rogrammende: ";
char c;
cin » c;

switch (c)
{
   case 'l': case 'L':
      Laden;
      break;
   case 's': case 'S':
      Speichern;
      break;
   case 'd': case 'D':
      Drucken;
      break;
   case 'p': case 'P':
      cout « "Sind Sie wirklich sicher? "; cin » c;
      if (c != 'j' && c != 'J')
```

```
        break;
      ProgrammEnde;
        break;
  default:
    cout « "Falsche Eingabe!\n";
    break;
}
```

Der Benutzer wird hier aufgefordert, mit Eingabe eines Zeichens aus einem kleinen Menü auszuwählen. Als erste Alternative wird bei Eingabe von `'l'` oder auch `'L'` der Menüpunkt `"Laden"` ausgeführt. Das anschließende `"break"` ist unbedingt nötig, um aus dem `"switch"` auszusteigen, denn sonst würde ganz einfach in der nächsten Zeile weitergemacht, also mit der Programmfunktion `"Speichern"`. Hier wurde die Programmiersprache wohl nicht unbedingt sinnvoll definiert, denn es dürfte so gut wie nie vorkommen, daß man nach einer `"switch"`-Verzweigung ohne `"break"` gleich mit der nächsten Alternative weitermachen will, während man andererseits leicht ein solches `"break"` vergißt und sich dann wundert, was das Programm denn macht. Aber mit dieser Unzulänglichkeit von C wird man wohl leben können und müssen.

Jedenfalls ist das Ganze so gedacht, daß die `"case"`-Angaben lediglich Labels sind, zu denen beim `"switch"` wie mit einem `"goto"` verzweigt wird. Also darf man auch - wie oben geschehen - beliebig viele `"case"` vor eine einzige Anweisung setzen. Andererseits darf jeder Wert nur in einem `"case"` auftreten, z. B. könnte man nicht zweimal `"case 'p'"` verwenden - denn wohin sollte dann auch verzweigt werden?

Das Label `"default"` darf ebenfalls in jedem `"switch"` höchstens einmal auftreten. Hierhin wird verzweigt, wenn der fragliche Wert bei keinem `"case"` angegeben wird. Wenn kein `"default:"` angegeben wird, wird in diesem Fall die `"switch"`-Anweisung ganz übergangen. Übrigens muß `"default"` keineswegs das letzte Label sein.

Das `"break"` hinter der letzten Anweisung eines `"switch"` ist eigentlich überflüssig, denn am Ende wird die `"switch"`-Anweisung ja sowieso verlassen. Es ist aber empfehlenswert, es hier trotzdem zu setzen, denn oft hängt man an ein `"switch"` noch nachträglich Alternativen an, und dann vergißt man leicht das trennende `"break"` - Folgen: siehe oben.

Bei `"switch"` gelten im Zusammenhang mit Initialisierungen genau dieselben strikten Regeln wie bei `"goto"`:

```
switch(i)
{ case 0:
    int j = 1;
  break;
  case 1:
    j = 26731;
    int k = j+1;
}
```

Hier beschwert sich der Compiler, daß bei der Verzweigung nach `"case 1"` die Initialisierung von `"j"` übersprungen wird. Allenfalls in der letzten Alternative darf, wie hier bei `"k"`, eine Initialisie-

rung stattfinden, denn die kann ja nicht mehr übersprungen werden, jedenfalls nicht innerhalb ihres Blocks. Deshalb bietet es sich an, einem `"case"` einen eigenen Block zu spendieren, um Ärger mit Initialisierungen lokaler Variablen zu umgehen:

```
switch(i)
{ case 0:
  { int j = 1;
    break;
  } // Hier ist der Block nötig
  case 1:
    j = 26731;
    int k = j+1;   // Das darf so bleiben
}
```

1.5.6 Die „return"-Anweisung

Das wären dann auch schon (fast) alle Anweisungstypen, die es in C++ gibt. Der Vollständigkeit halber soll hier noch die `"return"`-Anweisung erwähnt werden, über die Sie genaueres im Kapitel 1.6.3 erfahren. Sie beendet die Ausführung einer Funktion und kann optional auch einen Wert zurückgeben. Aber damit gehört sie auch schon in das folgende Kapitel:

1.6 Funktionen

1.6.1 „main" allein genügt nicht

Neben strukturierten Anweisungen - also etwa übersichtlicher Schleifenstrukturen statt wilder Sprünge - ist die Abstraktion durch Funktionsdefinition eine zentrale Idee der strukturierten Programmierung. Die Idee ist, weitgehend in sich abgeschlossene Programmteile zu einer Funktion zusammenzufassen und diese am besten auch noch so allgemein zu formulieren, daß sie möglichst allgemein zu benutzen ist.

Bisher hatten wir es immer mit nur einer Funktion zu tun, nämlich `"main"`. Das ist insofern eine besondere Funktion, als daß der Linker bei der endgültigen „Montage" des Programms darauf besteht, daß es eine solche Funktion gibt, und dann dafür sorgt, daß die Funktion `"main"` beim Programmstart ausgeführt wird. Für den Compiler gibt es dagegen keinen formalen Unterschied zwischen der Funktion `"main"` und einer beliebigen anderen.

Wir können also z. B. eine Funktion `"hello"` definieren, zunächst einmal ohne Rückgabewert (also `"void"`):

```
#include <stream.h>

void hello()
{ cout « "Hello, World!";
}
```

Die leeren Klammern `"()"`, die wir schon bei der Funktion `"main"` stets definiert haben, sind die „Parameterliste" der Funktion `"hello"`. Da diese Liste offensichtlich leer ist, hat die Funktion keine Parameter.

Eine Funktion wird mit Namen und Parameterliste aufgerufen, z. B. so:

```
#include <stream.h>

void hello()
{ cout « "Hello, World!";
}

void main()
{
  hello();       // Funktion "hello" wird ausgeführt
  cout « "\n";   // Zeilenvorschub
  hello();       // Und noch einmal "hello"
}
```

Ungeheuer wichtig: Auch wenn die Funktion gar keine Parameter hat, muß man in C (im Gegensatz z. B. zu Pascal) beim Aufruf eine leere Parameterliste anhängen. Der Funktionsname allein bezeichnet nur die Adresse einer Funktion. Der Postfix-Operator `"()"` (in C gilt eine Parameterliste tatsächlich als Operator) angewendet auf den Namen einer Funktion ruft eben diese auf.

Ein Funktionsaufruf ist übrigens ein Ausdruck und hat deshalb auch einen Datentyp, nämlich jeweils den Ergebnistyp der Funktion. In unserem Fall ist das der Typ `"void"`, so daß der Funktionsaufruf keinen wirklichen Wert hat und man mit dem Ergebnis auch nicht so sonderlich viel machen kann.

1.6.2 Parameter und Argumente

Jetzt sind Sie bestimmt schon neugierig, was es genau mit diesen Klammern `"()"` auf sich hat, denn wenn von einer leeren Parameterliste die Rede war, kann man bestimmt auch etwas da rein schreiben... Und genau davon soll jetzt die Rede sein.

Ein „Parameter" ist ein Wert, der beim Aufruf an eine Funktion übergeben wird. Praktisch geschieht das, indem eine Variable der Funktion „von außen" initialisiert wird. Diese Parametervariablen werden innerhalb der Parameterliste angegeben, z. B. so:

```
void f(int i, int j)
```

Aus historischen Gründen (sprich: wieder eine lästige Erbschaft von veralteten C-Standards) kann man hier nicht wie bei einer gewöhnlichen Variablendefinition

```
void f(int i, j) // Achtung, FALSCH!
```

schreiben. Aber die Anzahl der Parameter ist natürlich beliebig, und es können auch unterschiedliche Datentypen benutzt werden, z. B.

```
void NochEineFunktion(int i, char c, double d);
```

Jedenfalls hat die Funktion `"f"` nun zwei Variablen `"i"` und `"j"`, die beim Aufruf initialisiert werden. Die folgende Funktion berechnet nach dem euklidischen Algorithmus den größten gemeinsamen Teiler seiner Parameter:

```
void ggt(int i, int j)
{
   cout « "Der größte gemeinsame Teiler von " « i « " und "
   « j « " ist: ";

   while (i) // Kurzschreibweise für "while (i != 0)"
   { int hilf = j % i;
     j = i;
     i = hilf;
   }
   cout « j;
}
```

Wie Sie sehen, kann man Parameter genau wie gewöhnliche Variablen benutzen und ihnen sogar einen anderen Wert zuweisen.

Beim Aufruf einer Funktion sind dann geeignete Werte für die Parameter anzugeben, etwa

```
void main()
{ int a, b;
   cout « "Bitte zwei Zahlen eingeben: "; cin » a » b;
   ggt(a,b);
}
```

In C werden normalerweise nur Werte als Parameter übergeben. Die Variablen `"a"` und `"b"` des Hauptprogramms behalten deshalb ihre Werte, auch wenn in der Funktion `"ggt"` den Parametervariablen neue Werte zugewiesen werden.

An dieser Stelle sind dringend einige Anmerkungen zur Sprechweise nötig: Man unterscheidet nämlich zwischen „Parametern" und „Argumenten". In unserem Beispiel sind `"i"` und `"j"` die Parameter der Funktion `"ggt"`, während `"a"` und `"b"`, also die Werte, mit denen die Parameter initialisiert werden, „Argumente" genannt werden. Dementsprechend ist

```
(int i, int j)
```

eine Parameterliste und

```
(a, b)
```

eine Argumentliste. In Pascal ist es dagegen üblich, von „formalen" und „aktuellen" Parametern zu sprechen, also auch von „formalen Parameterlisten" (statt „Parameterliste") bzw. „aktuellen Parameterlisten" (statt „Argumentliste").

Bei der Parameterübergabe gelten dieselben Typregeln wie bei Initialisierungen (das sind bisher noch dieselben wie bei einer gewöhnlichen Wertzuweisung). Also werden auch Datentypen von Argumenten in die der Parameter umgewandelt. Beim Aufruf

```
ggt(17.0, 4.2)
```

würden folglich die Integerwerte „17" und „4" an die Parameter zugewiesen, wobei C-Compiler wieder eine Warnung ausgeben dürfen, was MaxonC++ aber unterläßt.

1.6.3 Rückgabe von Werten

Wie schon zuvor angedeutet, muß der Ergebnistyp einer Funktion keineswegs unbedingt `"void"` sein. In unserem Beispiel mit dem größten gemeinsamen Teiler (ggt) wäre es doch ausgesprochen praktisch, wenn die Funktion das Ergebnis nicht nur einfach auf den Bildschirm ausgeben, sondern es an das aufrufende Programm zurückgeben würde, damit man es im weiteren Programmablauf verwenden kann. Das geht im Prinzip ganz einfach:

```
int ggt(int i, int j)
{
  while (i)
  { int hilf = j % i;
    j = i;
    i = hilf;
  }
  return j;
}
```

Zunächst einmal wird als Ergebnistyp der Funktion `"int"` angegeben, es wird also eine Zahl zurückgegeben. Unser Algorithmus läuft dann genau wie bei der ersten Version, nur daß wir keine Ausgaben machen. Am Ende unserer Funktion steht dann eine `"return"`-Anweisung. Hier wird die Funktion beendet und das Ergebnis, also der Wert von `"j"`, an das aufrufende Programm zurückgegeben.

Dort können wir jetzt den Funktionsaufruf in Ausdrücken und Anweisungen benutzen, etwa so:

```
void main()
{ int a, b;
  cout « "Bitte zwei Zahlen eingeben: "; cin » a » b;
  int erg = ggt(a, b);
  cout » "Der ggt der Eingabe ist: " » erg
}
```

...oder auch so:

```
void main()
{ int a, b;
  cout « "Bitte zwei Zahlen eingeben: "; cin » a » b;
  cout » "Der ggt der Eingabe ist: " » ggt(a, b);
}
```

Da ein Funktionaufruf ein Ausdruck ist, kann er z. B. auch Argument einer anderen Funktion sein:

```
int Eingabe(int min, int max)
{ int input;

  for(;;)
  {
    cout « "Bitte eine Zahl zwischen " « min « " und " « max
    « "eingeben: ";
    cin » input;

    if (input >= min && input <= max)
      return input;

    cout « "Falsche Eingabe! \n";
  }
}

int ggt(int i, int j);       // wie oben

void main()
{
  cout « ggt(Eingabe(1,10000), Eingabe(1,10000));
}
```

In diesem Beispiel werden diverse Funktionsaufrufe ineinander verschachtelt. Zunächst wird im Hauptprogramm der Operator `"«"` ausgewertet, dessen Operanden (bzw. Argumente) das Objekt `"cout"` und der nachfolgende Ausdruck sind. Jener Ausdruck ist ein Aufruf der Funktion `"ggt"`, wobei als Argumente jeweils die Funktion `"Eingabe"` aufgerufen wird. Diese Funktion erwartet eine Eingabe des Benutzers und prüft dabei, ob sie im erwarteten Bereich liegt.

Es stellt für das Programm also kein Problem dar, die Auswertung eines Ausdrucks zu unterbrechen, eine Funktion auszuführen und dann den Ausdruck zu Ende zu berechnen.

Übrigens ist obiges Beispiel ziemlich gewagt programmiert, denn der C++-Sprachstandard sagt nichts darüber aus, in welcher Reihenfolge die Argumente einer Funktion ausgewertet werden, ob hier also zuerst der linke oder der rechte Aufruf von `"Eingabe"` erfolgt. Bei der Berechnung des größten gemeinsamen Teilers spielt die Reihenfolge der Parameter aber keine Rolle, so daß hier unterschiedliche Implementierungen kein wesentlich anderes Ergebnis liefern würden. MaxonC++ wertet die Argumente von links nach rechts aus, aber um zu anderen Implementierungen kompatibel zu bleiben, sollten Sie sich nie darauf verlassen.

Zum Abschluß noch einige Anmerkungen zur `"return"`-Anweisung:

- Eine Funktion kann beliebig viele `"return"`-Anweisungen haben. Die Ausführung einer Funktion wird durch die `"return"`-Anweisung sofort abgebrochen und der nachfolgende Wert zurückgegeben.
- Auch in einer Funktion mit `"void"`-Ergebnis kann `"return"` benutzt werden. In diesem Fall wird natürlich kein Ergebniswert angegeben, man schreibt also ganz einfach `"return;"`.

- Viele Programmierer setzen das Ergebnis einer `"return"`-Anweisung in runde Klammern, etwa `"return (2*j);"`, wodurch das Ganze wie ein Funktionsaufruf aussieht. Das darf man machen (es ist erlaubt, in und um Ausdrücke überflüssige Klammern zu setzen), aber es hat keinerlei Bedeutung. Auch in diesem Handbuch wird auf diese Klammern verzichtet, denn `"return"` ist nun einmal keine Funktion, sondern eine eigenständige Art von Anweisung.
- Der Ausdruck hinter `"return"` wird nach den üblichen Regeln für Initialisierungen in den Ergebnistyp der Funktion umgewandelt.

Es ist weit verbreitet (und leider auch erlaubt), bei der Deklaration einer Funktion überhaupt keinen Ergebnistyp anzugeben, z. B.

```
Anonym()
{ // irgendwas...
  return;
  // nochwas ...
  return 42;
}
```

Wenn eine solche Funktion in einem Ausdruck aufgerufen wird, wird davon ausgegangen, daß ihr Ergebnis `"int"` ist. Innerhalb einer Funktion ohne Rückgabetyp darf `"return"` wahlweise mit oder ohne Ausdruck aufgerufen werden, während sonst die Schreibweise ohne nachfolgenden Ausdruck nur in `"void"`-Funktionen und die mit Ausdruck ausschließlich in Funktionen mit einen anderen Ergebnistyp als `"void"` benutzt werden darf.

Deklarationen von Funktionen ohne Ergebnistyp sind schon wieder eine Erbschaft von C.

In diesem Zusammenhang sei noch einmal deutlich gesagt, daß C nicht, wie z. B. Pascal, zwischen `"Functions"` mit Ergebnis und `"Procedures"` ohne Ergebnis unterscheidet. Eine Funktion mit einem Ergebnis kann ganz normal als Anweisung aufgerufen werden, wobei ihr Resultat dann ignoriert wird:

```
int f()
{ cout « "f wurde aufgerufen.\n";
  return 26731;
}

void main()
{ int i = f();   // Ergebnis von "f" wird benutzt
  f();           // Ergebnis von "f" wird ignoriert
}
```

1.6.4 Funktionen und Gültigkeitsbereiche

1.6.4.1 Deklarationen auf Dateiebene

Jede Funktion hat ihren eigenen Gültigkeitsbereich. Das heißt, daß eine Funktion nicht auf Variablen oder sonstige Bezeichner einer anderen Funktion zugreifen kann - ein Bezeichner, der innerhalb einer Funktion definiert wird, ist außerhalb nicht sichtbar. Also kann man natürlich denselben

Namen in verschiedenen Funktionen definieren - diese Bezeichner haben dann für den Compiler absolut nichts miteinander zu tun.

Wenn Funktionen also gemeinsame Daten benötigen, muß die aufrufende Funktion der aufgerufenen die gewünschten Daten als Parameter übergeben. Dies ist oft nervig und manchmal gar nicht praktikabel, weshalb es noch eine weitere Möglichkeit gibt: Deklarationen auf Dateiebene. Ein Beispiel:

```
#include <stream.h>

int zahl1, zahl2, ergebnis;

void ggt()
{ int i = zahl1, j = zahl2;
  while (i)
  { int hilf = j % i;
    j = i;
    i = hilf;
  }
  ergebnis = j;
}

void main()
{ cout « "Bitte zwei Zahlen eingeben: ";
  cin » zahl1 » zahl2;
  ggt();
  cout « "ggT: " « ergebnis;
}
```

Die Variablen **"zahl1"**, **"zahl2"** und **"ergebnis"** werden auf Dateiebene (man sagt auch „global") definiert. Ihr Gültigkeitsbereich liegt damit noch über dem der Funktionen. Sie sind in allen Funktionen sichtbar, können dort aber natürlich auch überdefiniert werden.

Das kleine Programm simuliert Parameterübergaben im BASIC-Stil: Die Parameter werden in Variablen abgelegt, woraus das „Unterprogramm" sie übernimmt und das Ergebnis berechnet, das dann in einer globalen Variablen abgelegt wird. Damit ist das Programm wieder einmal ein Beispiel dafür, wie man nicht programmieren sollte. Es gibt aber tatsächlich Situationen, in denen man globale Variablen benutzen muß. Dann sollte man aber auf jeden Fall einen Kommentar an den Anfang der betreffenden Funktionen setzen, der auf solche „versteckte" Parameter hinweist.

Es ist nicht nötig, die globalen Variablen vor den Funktionen zu definieren. Funktions- und Variablendeklarationen dürfen in C beliebig gemischt werden. Da man aber jede Variable deklarieren muß, bevor man sie benutzen kann, ist es in der Regel am sinnvollsten, erst alle Variablen und dann die Funktionen zu deklarieren.

Übrigens werden auch die Objekte **"cin"** und **"cout"** in der Includedatei **"stream.h"** als globale Variablen deklariert, das erklärt dann auch, warum sie in allen Funktionen ohne weiteres zur Verfügung stehen.

1.6.4.2 Rekursive Funktionen

Eine Variable, die innerhalb einer Funktion definiert wird, wird bei jedem Aufuf der Funktion auf den „Stack" erzeugt und nach Beendigung der Funktion wieder gelöscht. Das hat dann gewichtige Konsequenzen, wenn eine Funktion sich selbst aufruft (man nennt sie dann „rekursive Funktion").

Ein fast schon klassisches Beispiel für Rekursion: Die Fakultät einer Zahl n wird oft deklariert als Produkt aller Zahlen von 1 bis n, z. B.

```
5! = 1*2*3*4*5 = 120
```

Es gibt aber eine noch viel schönere Definition: Man setzt `0! = 1` und für alle anderen Zahlen gilt:

```
n! = n * (n-1)!
```

Nach dieser Definition ist dann `5! = 5 * 4! = 5 * 4 * 3!` und so weiter. Und genau nach dieser Definition berechnet die folgende Funktion die Fakultät einer Zahl:

```
int fak(int n)
{ if (n == 0)
   return 1;
else
   return n * fak(n-1);
}
```

Es sollte Sie absolut nicht stören, daß die Funktion sich selbst aufruft, das tut sie nämlich nicht endlos oft (was man versehentlich auch öfters programmiert und dann zu einem Absturz führt, weil der Stack überläuft), sondern nur, bis die Variable `"n"` auf 0 heruntergezählt ist. Die Parametervariable `"n"` wird bei jedem einzelnen Aufruf neu erzeugt und anschließend wieder gelöscht, so daß die Rekursion nicht den Wert von `"n"` auf der aktuellen Ebene verändern kann. Genauso würde für weitere lokale Variablen, die man in `"fak"` deklarieren könnte, bei jeder Rekursion ein neuer Platz auf dem Stack eingerichtet. Damit gibt es keinen Unterschied zwischen einer Rekursion und einem gewöhnlichen Funktionsaufruf: Die lokalen Variablen einer Funktion werden in beiden Fällen garantiert nicht verändert, es sei denn, man wünscht das ausdrücklich - wie das geht, steht im Kapitel 2.

Prinzipiell kann man jede Schleife durch eine Rekursion ersetzen, so wie wir im letzten Beispiel eine simple Zählschleife zum Multiplizieren der ersten `"n"` Zahlen durch eine elegante rekursive Funktion ersetzt haben. Sie sollten es mit Rekursionen allerdings nicht übertreiben: Zum einen hat der Stack, auf dem bei jedem Funktionsaufruf Variablen und andere Daten abgelegt werden, nur eine begrenzte Größe, und wenn der überläuft, kommt der allseits beliebte Guru. Zum anderen benötigt ein Funktionsaufruf immer einiges an Zeit (Sie erinnern sich: Variablen müssen erzeugt und nachher wieder gelöscht werden, und auch sonst ist einiges internes Stack-Management nötig), so daß eine Schleifenstruktur oft weniger schön, aber stets schneller ist.

1.6.4.3 Deklarationen und Definitionen

Die Namen von Funktionen sind naheliegenderweise auf Dateiebene deklariert. Und spätestens jetzt ist es an der Zeit, einmal auf die Unterschiede zwischen einer „Deklaration" und einer „Definition" zu kommen.

Es ist nämlich durchaus möglich, eine Funktion zu deklarieren, ohne sie zu definieren. Betrachten wir einmal die beiden folgenden Funktionen:

```
int gerade (int);

int ungerade (int n)
{ if (n<0)
    return ungerade (-n);
  else
    return !gerade(n);
}

int gerade (int n)
{ if (n == 0)
    return 1
  else
    return ungerade(n-1);
}
```

Die beiden Funktionen stellen auf denkbar umständliche Art und Weise fest, ob eine Zahl gerade oder ungerade ist, nämlich rekursiv nach folgenden Regeln:

1. Eine negative Zahl ist ungerade, wenn die zugehörige positive Zahl ungerade ist.
2. Eine positive Zahl ist ungerade, wenn sie nicht gerade ist.
3. Null ist gerade.
4. Eine Zahl ist gerade, wenn die nächstkleinere Zahl ungerade ist.

Umständlicher geht es wirklich nicht, aber das steht hier nicht zur Debatte. Wesentlich ist vielmehr, daß die beiden Funktionen **"ungerade"** und **"gerade"** sich gegenseitig aufrufen. In C++ muß man aber jede Funktion deklarieren, bevor man sie benutzt (in C ist das anders, siehe auch den „Anachronismen"-Abschnitt). Deshalb wird zuerst die Funktion **"gerade"** nur deklariert: Ergebnistyp, Name und Parameterliste werden angegeben und das Ganze mit einem Semikolon beendet. Nun weiss der Compiler, was er mit dem Bezeichner **"gerade"** anzufangen hat: die Funktion **"gerade"** ist bekannt und darf deshalb aufgerufen werden. Man nennt eine solche Funktionsdeklaration ohne nachfolgende Definition auch „Prototyp" der Funktion.

Man beachte, daß hier in der Deklaration der Parameter den Typen **"int"**, aber keinen Namen hat. Man darf sie durchaus wie gewohnt benennen, aber diese Bezeichner haben dann keinerlei Bedeutung. Es ist sogar erlaubt, eine Funktion beliebig oft zu deklarieren und jedesmal andere Bezeichner für die Parameter zu wählen. Es kommt lediglich darauf an, daß die Datentypen und die Reihenfolge der Parameter gleich bleiben.

Nach der Deklaration und gleichzeitiger Definition der Funktion **"ungerade"** folgt im obigen Beispiel die Definition, also der Funktionsrumpf, der bisher nur deklarierten Funktion **"gerade"**. Hier muß wieder die komplette Parameterliste angegeben werden (bei **"forward"**-Deklarationen in Pascal ist das ja anders). Es ist zu empfehlen, den Parametern hier Namen zu geben, denn sonst

kann man sie in der Funktion ja nicht benutzen. Prinzipiell ist es aber erlaubt, namenlose Parameter zu deklarieren. Das kann z. B. sinnvoll sein, wenn man einen Parameter derzeit noch nicht benötigt, aber plant, die Funktion später so zu erweitern, daß ein zusätzlicher Parameter nötig wird. Dann kann man gleich in der Funktionsdeklaration durch einen namenlosen Parameter deutlich machen, daß eben dieser Parameter vorerst noch keine Bedeutung hat.

Selbstverständlich kann jede deklarierte Funktion nur einmal definiert werden, d. h. es kann nur einmal ein Anweisungsteil für jede Funktion geschreiben werden. Wenn eine Funktion deklariert, aber nicht definiert wird, nimmt der Compiler automatisch an, daß sie extern eingebunden werden soll. Deshalb meldet dann ggf. der Linker, nicht aber der Compiler einen Fehler.

Deklaration und Definition von Funktionen zu trennen, ist unumgänglich, wenn wie oben geschehen zwei Funktionen sich gegenseitig aufrufen. Aber auch sonst ist das oft sinnvoll: Viele Programmierer setzen an den Anfang eines Programms Deklarationen für sämtliche benutzte Funktionen. Dann darf man anschließend die Funktionedefinitionen in beliebiger Reihenfolge anordnen, muß also nicht zuerst die simplen Hilfsfunktionen und dann die gehaltvolleren Funktionen, die dann erstere benutzen, schreiben.

Funktionsdeklarationen ohne Definition benutzt man auch gerne in sog. „Header-Files" bei Projekten, die aus mehreren Modulen bestehen.

1.6.5 Überladen, Default-Parameter und mehr

1.6.5.1 Überladen von Funktionen

Ein recht nützliches Feature von C++ soll hier auch kurz erwähnt werden (das Thema ist in Wirklichkeit so umfangreich, daß ihm später ein eigenes Kapitel gewidnet werden soll): das „Überladen" von Funktionen.

Nehmen wir einmal an, Sie benötigen in einem Programm oft die Beträge von Zahlen, und zwar von Zahlen unterschiedlichster Datentypen. In gewöhnlichem C würden Sie dann folgendes schreiben:

```
int abs_i(int n)
{ if (n >= 0) return n;
  else return -n;
}

short abs_s(short n)
{ if (n >= 0) return n;
  else return -n;
}

float abs_f(float x)
{ if (x >= 0) return x;
  else return -x;
}

double abs_d(double x)
{ if (x >= 0) return x;
```

```
  else return -x;
}
```

Im nachfolgenden Programm müssen Sie dann immer solche Namen wie `"abs_f"` benutzen. Dabei wäre es doch viel schöner, wenn man immer nur `"abs"` sagen und der Compiler dann die richtige Funktion selbst heraussuchen würde. Und genau das ist in C++ möglich: es ist erlaubt, eine Funktion mit mehreren unterschiedlichen Parameterlisten zu deklarieren. Das könnte dann so aussehen:

```
int abs(int n)
{ if (n >= 0) return n;
  else return -n;
}

short abs(short n)
{ if (n >= 0) return n;
  else return -n;
}

// usw.
```

Wir haben es jetzt also mit mehreren Funktionen zu tun, die alle `"abs"` heißen. Beim Aufruf der Funktion `"abs"` betrachtet der Compiler dann den Typ des Arguments und ermittelt die `"abs"`-Funktion, zu der der Argumenttyp am besten paßt. Natürlich existieren präzise standardisierte Regeln, die festlegen, was in diesem Sinne „am besten passen" bedeutet. Diese Regeln möchte ich Ihnen an dieser Stelle aber noch nicht zumuten, zumal wir bis jetzt noch bei weitem nicht alle Datentypen kennen. Vorerst sollten Sie beim Aufruf einer überladenen Funktion darauf achten, daß die Typen der Argumente genau mit den Parametertypen der gewünschen Funktion übereinstimmen.

Ein Beispiel:

```
void f(int, double);

void f(double, int);

main()
{ f(1, 2);          // Fehler
  f(1.0, 2.0);   // Fehler
  f(1, 2.0);       // OK
}
```

Bei den beiden ersten Funktionsaufrufen wird der Compiler einen Fehler melden, denn er weiß nicht, welche Funktion hier jeweils gemeint ist. Der dritte Funktionsaufruf hingegen ist erlaubt, denn hier hat der erste Parameter den Typ `"int"` und der zweite den Typ `"double"`, so daß klar ist, welche der beiden Funktionen gemeint ist.

Es ist nicht möglich, den Ergebnistyp einer Funktion zu überladen, d. h. haben zwei Funktionsdeklarationen gleichen Namen UND gleiche Parameter, so müssen auch die Ergebnistypen gleich sein. Folgendes wäre also NICHT erlaubt:

```
int f();

 double f();  // Hier meldet der Compiler einen Fehler

main()
{ int i = f();
  double d = f();
}
```

Es ist zwar intuitiv klar, daß beim ersten Funktionsaufruf die `"int"`-Variante und beim zweiten die `"double"`-Version der Funktion `"f"` gemeint sind. C++ ermittelt die gewünschte Funktionsinstanz aber ausschließlich anhand der Argumente, ohne den „gewünschten" Ergebnistyp zu beachten. Der Grund ist einfach der, daß die Regeln für den Aufruf überladener Funktionen auch so schon kompliziert genug sind und sie niemand mehr so recht verstehen würde, wenn auch noch der Ergebnistyp in die Regel einginge.

Wie versprochen, verschone ich Sie vorerst noch mit den genauen Regeln für das Überladen von Funktionen. Wenn Sie beim Aufruf immer darauf achten, daß die Argumenttypen exakt mit den Parametertypen übereinstimmen, können Sie so viel gar nicht falsch machen. Zu guter Letzt sei noch darauf hingewiesen, daß man den Compiler in früheren C++-Versionen (1.0-Standard) eigens darauf hinweisen mußte, wenn man beabsichtigte, eine Funktion zu überladen. Das geschah dann mittels des Schlüsselworts `"overload"`, z. B. mußte man

```
overload Funktionsname;
```

deklarieren, bevor man die Funktion dieses Namens überladen durfte. Inzwischen ist C++ nicht mehr so kleinlich, und diese expliziten `"overload"`-Deklarationen sind auch gar nicht mehr Bestandteil des Sprachstandards. MaxonC++ akzeptiert solche Deklarationen immer noch, damit man ältere Quelltexte problemlos übersetzen kann, es ist aber nicht empfehlenswert, derartige Deklarationen heute noch zu verwenden.

1.6.5.2 Abkürzen durch Default-Argumente

Am Beispiel des Überladens von Funktionen haben Sie sicher schon erkannt, daß C++ eine wesentlich mächtigere Programmiersprache als C ist und daß sich der Umstieg auf jeden Fall lohnt. In diesem Abschnitt soll von noch einem praktischen Feature von C++ die Rede sein, nämlich Default-Parametern.

Manchmal hat eine Funktion so etwas wie einen „kanonischen" Parameter, dem fast immer dasselbe Argument übergeben wird. Dann nervt es ganz einfach, diesen Parameter bei jedem Aufruf anzugeben, nur weil an ein paar anderen Stellen ein anderer Wert dafür benötigt wird. Dann hat der C++-Programmierer gut Lachen und benutzt einfach einen Default-Parameter.

Man deklariert einen Default-Wert für ein Argument einer Funktion, indem man in der Funktionsdeklaration hinter den Parameter ein `"="` und den gewünschten Ausdruck (egal, ob nur eine Konstante oder eine komplexe Berechnung) setzt. Ein Beispiel:

```
void f(int i1, int i2 = 0);
```

Die so deklarierte Funktion kann dann wahlweise mit einem oder zwei Argumenten aufgerufen werden. Wenn nur ein Argument angegeben wird, z. B.

```
f(42);
```

setzt der Compiler für den zweiten Parameter automatisch `"0"` ein.

Es dürfen stets nur für den letzten bzw. die letzten Parameter einer Funktion Default-Argumente deklariert werden. Ungültig wäre deshalb

```
int f2(int a, short b=17, char c);  // Error
```

Aus technischen Gründen darf jedes Default-Argument auch nur einmal deklariert werden, auch wenn die Funktion mehrfach deklariert wird. Also wäre folgender Programmcode fehlerhaft:

```
void myfun(double = 1.0); // OK

void myfun(double = 1.0)  // Error: Redefinition of default argument
{ // mach' irgendwas;
}
```

Korrekt wäre hingegen überraschenderweise, bei der zweiten Deklaration das Default-Argument einfach wegzulassen. Der Compiler merkt sich dann das Argument der ersten Deklaration.

Welchen Sinn hat diese Regelung? Wäre es nicht übersichtlicher und leichter verständlich, Default-Argumente bei jeder Deklaration neu anzugeben?

Das wäre tatsächlich schöner, und einige frühe C++-Implementierungen erlauben dies auch (MaxonC++ aber nicht). Das Problem ist aber, daß man jedesmal dasselbe Argument angeben müßte, und es ist eine verblüffende Tatsache, daß es nicht so einfach ist, zu definieren, wann zwei Ausdrücke „gleich" sind. Nehmen wir einmal an, im obigen Beispiel hätten wir als Default Argument zunächst `"1.0/3.0"` gewählt. Bei der zweiten Deklaration geben wir nun `"0.333333"` an. Sind diese beiden Ausdrücke gleich? Auf einem Rechner mit bis zu 6-stelliger Rechengenauigkeit sind sie es, bei mehr als 6 Stellen Genauigkeit aber nicht. Noch komplizierter wird das Ganze dadurch, daß man als Default Parameter nicht nur Konstanten, sondern nahezu beliebige Ausdrücke deklarieren kann. Sind z. B. die Ausdrücke `"a+(b+1)"` und `"(a+b)+1"` identisch? Jedenfalls würde eine verbindliche Definition, wann zwei Ausdrücke identisch sind, ziemlich schwierig. Also hat man es dabei belassen, jedes Default Argument nur einmal angeben zu können.

Dafür darf man aber auch nachträglich zusätzliche Default-Argumente deklarieren. Ein Beispiel:

```
void seltsam(int, char, double);
```

```
void seltsam(int, char, double = 1.0);

void seltsam(int, char = '?', double);

void seltsam(int = 42, char, double);
```

Nach der ersten Deklaration benötigt `"seltsam"` noch drei Argumente. Nun wird nachträglich ein Default für das letzte Argument deklariert, so daß wir die Funktion nun auch mit nur zwei Argumenten aufrufen können. Bei der dritten Deklaration bekommt auch noch der `"char"`-Parameter einen Defaultwert. Man beachte, daß hier scheinbar ein Default-Argument für einen Parameter, der nicht am Ende steht, deklariert wird, und das ist bekanntlich verboten. In Wirklichkeit weiß der Compiler natürlich, daß der letzte Parameter schon ein Default-Argument besitzt, und so hat alles seine Richtigkeit.

Zu guter Letzt wird auch noch ein Default-Argument für den ersten Parameter hinzugefügt. Jetzt haben wir die freie Auswahl, ob wir `"seltsam"` nun kein, ein, zwei oder drei Argumente übergeben.

Eine kleine Einschränkung sei hier noch erwähnt: Der Ausdruck, den man als Default-Argument setzt, darf nicht Werte der anderen Argumente benutzen, und zwar (unter anderem) deshalb, weil nicht definiert ist, in welcher Reihenfolge Argumente ausgewertet werden. Wenn nun ein Default-Argument von einem anderen Argument abhängt, das noch nicht berechnet wurde, wäre das Ergebnis ja undefiniert.

Also klopft Ihnen der Compiler auf die Finger, wenn Sie so etwas versuchen:

```
int multi(int a, int b=a) // Falsch!
{ return a*b;
}
```

Die Intuition dieser Funktion ist einsichtig: Wenn sie zwei Argumente hat, berechnet sie deren Produkt, bei nur einem Argument dessen Quadrat. Falls man auf derartige „Default-Argumente" absolut nicht verzichten will, kann man sie durch Überladen der Funktion „simulieren":

```
int multi(int a, int b)
{ return a*b;
}

int multi(int a)
{ return multi(a,a);
}
```

Das kostet zwar etwas mehr Laufzeit (bei nur einem Argument wird das Ergebnis nicht direkt berechnet, sondern noch eine zweite Funktion aufgerufen), aber es funktioniert.

1.6.5.3 Variable Parameterlisten

C++ hat von C auch durchaus ein paar nützliche Erbschaften übernommen, die zwar nicht schön, aber trotzdem hin und wieder praktisch sind. Dazu gehören die variablen Parameterlisten, mit

denen man einer Funktion beliebig viele Parameter beliebigen Typs übergeben kann. Dazu deklariert man als letzten Parameter einer Funktion die Ellipse „...":

```
void int_und_dann_egal(int i, ...);
```

Diese Funktion erwartet als erstes Argument ein `"int"`, und danach kann man beim Aufruf Beliebiges setzen, z. B.

```
int_und_dann_egal(17, 4.0, 'x', 93L, 0x686b);
```

oder auch ganz kurz:

```
int_und_dann_egal(2);
```

Natürlich haben die zusätzlichen Parameter dann für die Funktion keinen Namen, so daß die Funktion darauf nicht direkt zugreifen kann, sondern nur mit Hilfe der Funktionen, die in `"<stdarg.h>"` deklariert werden. Näheres über dieses (und alle anderen) Includefile erfahren Sie im Referenzteil dieses Handbuchs.

1.6.6 Anachronismen aus der Mottenkiste

1.6.6.1 Umschalten in den C-Modus

Im uralten „Kernigham & Richie"-Standard für die Programmiersprache C waren Parameterlisten von Funktionen ausgesprochen seltsam definiert, und leider wirkt sich das noch bis in ANSI C fort. Bei der Einführung von C++ hat man diese alten Zöpfe lobenswerterweise abgeschnitten, aber das ist dann auch die Hauptursache für Inkompatiblitäten zwischen ANSI C und C++.

Diese „Erbschaften" von Uralt-C sind so verstaubt und sinnlos, daß sie von MaxonC++ (in Übereinstimmung mit dem C++-Standard) nicht mehr unterstützt werden, jedenfalls nicht im C++-Modus. Allerdings sind sie immer noch Bestandteil des ANSI-C-Standards, übrigens mit gutem Grund, denn es haut mich immer wieder um, wenn ich sehe, wie viele C-Programmierer diese antiquierten Features noch benutzen.

Jedenfalls möchte ich Sie noch einmal darauf hinweisen, daß es wirklich keinen vernünftigen Grund gibt, das im folgenden Beschriebene zu benutzen. Ich schreibe dieses Kapitel überhaupt aus nur drei Gründen:

1. MaxonC++ kann es, also soll es auch dokumentiert werden.
2. Man braucht diese alten Features, wenn man einen älteren Quelltext mit MaxonC++ übersetzen will.
3. Vielleicht versuchen Sie einmal, ein fremdes Listing zu verstehen, und dann sollen Sie sich nicht über eine gewisse seltsame Syntax wundern.

Bevor ich Ihnen verrate, worum es eigentlich geht, erzähle ich Ihnen noch kurz, wie Sie unter MaxonC++ in den ANSI-Modus gelangen. Bestimmt haben Sie schon das Pull-Down-Menü **„Optionen/Compiler/C++"** entdeckt. Wenn man diesen Menüpunkt ausschaltet, wird das Programm nach

den ANSI-C-Sprachregeln übersetzt. Aber man kann auch im Programmtext den Sprachstandard wählen und sogar an beliebiger Stelle zwischen C und C++ umschalten, und zwar mit einem `"pragma"`.

`"#pragma"`-Zeilen werden, genau wie `"#include"`, vom Preprozessor interpretiert und ausgeführt. Mit einem `"#pragma"` realisiert man dabei compiler-spezifische Features, die ausdrücklich nicht standardisiert sind. In MaxonC++ schaltet die Zeile

```
#pragma -
```

den Compiler auf ANSI-C-Emulation um, und

```
#pragma +
```

ermöglicht danach wieder die Programmierung in C++.

Jeder C-Compiler, der zu ANSI C kompatibel ist, kennt übrigens `"pragma"`-Zeilen, nur das, was dahinter steht und was es bedeuten soll, ist nicht im C-Standard festgelegt, denn damit soll man ja eben implementationsabhängige Funktionen ansprechen. Deshalb ist festgelegt, daß der Compiler keinen Fehler melden darf, wenn er auf ein unbekanntes `"pragma"` trifft. Also sollte jeder andere ANSI-C-Compiler ein `"#pragma -"` aus einem unter MaxonC++ entwickelten Programm ignorieren, während MaxonC++ Dinge wie `"#pragma Hallo!"` ganz einfach nicht beachtet.

1.6.6.2 Parameterlisten im alten Stil

Und nun lasse ich die Katze aus dem Sack: Bei den oben erwähnten Uralt-Features handelt es sich um die alte Syntax für Parameterlisten und die Konsequenzen, die das für ANSI C bis heute hat.

Ursprünglich wurden die Datentypen von Argumenten überhaupt nicht beachtet. Rief man eine Funktion auf, etwa

```
f(17, 4.0);
```

so legte der Compiler die `"int"`-Zahl `17` und die `"double"`-Konstante `"4.0"` auf den Stack und rief dann die Funktion `"f"` auf, ganz egal, was für Argumente `"f"` in Wirklichkeit erwartet. Das können Sie heute auch noch in C++ simulieren, indem Sie `"f"` mit einer vollkommen variablen Argumentenliste deklarieren:

```
int f(...);
```

In jenen alten Tagen mußte man eine Funktion dann auch überhaupt nicht deklarieren, bevor man sie aufrief - die Argumenttypen waren ja sowieso egal, und wenn nichts anderes deklariert wurde, wurde als Ergebnistyp `"int"` angenommen. Wenn man eine Funktion aber trotzdem deklarierte, sah das ganz einfach so aus:

```
int f();
```

Man durfte sogar den Ergebnistyp weglassen, also

```
f();
```

deklarieren, wobei dann als Ergebnis im Zweifelsfall `"int"` angenommen wurde. Eine solche Deklaration hat natürlich niemand geschrieben, denn da wird ja nichts anderes gesagt, als der Compiler ohnehin schon vermutet, nämlich daß die Funktion `"f"` existiert, irgendwelche nicht näher bekannten Argumente hat und entweder `"int"` oder gar nichts zurückgibt.

Bei der Definition der Funktion war es dann aber nötig, den Parametern Namen zu geben. Das sah dann so aus, daß nur die Namen in die Parameterliste gesetzt wurden. Zwischen der Funktionsdeklaration und dem Funktionsrumpf konnte man dann die Datentypen der Parameter deklarieren - wenn für einen kein Typ angegeben wurde, so wurde er als `"int"` betrachtet.

Ein Beispiel:

```
#pragma -    /* Das folgende akzeptiert MaxonC++ nur im ANSI-Modus */

int uralt(i,j,k,d,c)
   int i, j;
   double d;
   char c;
{
   d = i+j+k;
   return (int)d + c;
}
```

Aber glauben Sie nicht, der Compiler hätte wenigstens nach dieser Funktionsdefinition die Argumenttypen beachtet, oh nein! Auch danach blieben die Typen der Parameter Privatangelegenheit der Funktion, und beim Funktionsaufruf konnte der Programmierer nur beten, daß er immer die richtigen Datentypen erwischte, sonst bekam die Funktion unsinnige Parameter. Ach ja, das waren noch Zeiten, als Programmierer noch echte Männer waren und souverän die Fallgruben, die C ihnen grub, umgingen...

Übrigens kamen in letzter Zeit Gerüchte auf, daß das alte C eigentlich nur ein Scherz sein sollte. Demnach wollten Kernighan und Richie eine möglichst konfuse Parodie auf Pascal schreiben und das Ganze dann den Russen unterjubeln, um deren technologischen Rückstand weiter zu vergrößern. Ebenso soll UNIX ursprünglich nur eine Parodie auf MULTICS gewesen sein, aber dann kamen einige Verrückte und begannen, unter UNIX in C tatsächlich zu programmieren... Aber lassen wir das.

1.6.6.3 Von der Steinzeit in die ANSI-Ära

Mit der Einführung von ANSI C wurde dann einiges besser. Endlich wurden die Parameterlisten, die man schon von C++ kannte, in C aufgenommen. Sie haben durchaus richtig gelesen, denn C++ gab es schon vor ANSI C, wenn auch in einer etwas abgespeckten Version. Dabei gab es dann aber ein kleines Problemchen: das Ganze sollte auf jeden Fall kompatibel bleiben. Also blieben die alten Parameterlisten 'drin, und der Programmierer hat in ANSI C bis heute die Wahl, ob er nun im neuen oder alten Stil schreiben will. Es wird zwar allgemein empfohlen, die neue Form zu benutzen (was ja auch das einzig Sinnvolle ist), aber das interessiert erfahrungsgemäß den echten Hard-Core-C-Coder nicht.

Um die Kompatiblität zum alten C-Standard zu erhalten, mußte man definieren, daß die scheinbar leere Parameterliste `"()"` weiterhin für „beliebige Parameter ohne Typprüfung" stehen sollte - also ein deutlicher Unterschied zu C++. Eine Funktion, die wirklich keine Parameter haben soll, deklariert man in ANSI C, indem man in die Parameterliste `"void"` schreibt, z. B.

```
int fun(void);
```

Das sieht komisch aus und nervt, deshalb ist es allgemein verbreitet, für parameterlose Funktionen einfach `"()"` zu schreiben und dann selbst darauf zu achten, daß man keine überflüssigen Argumente übergibt.

MaxonC++ akzeptiert die `"(void)"`-Schreibweise auch im C++-Modus, damit man leichter gemeinsame Header-Files für C und C++ schreiben kann. Dem C++-Standard entspricht dies genaugenommen nicht, aber es ist dem Implementator freigestellt, derartige Anachronismen einzubauen. Wenn man unter C++ Parameterlisten im alten Stil benutzt, meckert MaxonC++ und bittet darum, in den C-Modus umzuschalten.

Zusammenfassend möchte ich zusammenfassenderweise zusammenfassen, daß die leere Parameterliste `"()"` je nach Modus entweder `"(...)"` oder `"(void)"` entspricht.

1.6.7 Einige Standardfunktionen

1.6.7.1 Allgemeines

Der C-Programmierer soll das Rad nicht jedesmal neu erfinden. Deshalb gehört zu jedem C-Entwicklungssystem eine umfangreiche Sammlung von Bibliotheksfunktionen für alle Lebenslagen. Diese werden im Referenzteil dieses Handbuchs ausführlich und systematisch beschrieben. Deshalb soll dieser Abschnitt Ihnen nur einen kleinen Überblick geben, damit Sie bei Bedarf besser Bescheid wissen, wo Sie zu suchen haben.

C hat im Gegensatz zu Pascal, Basic und anderen Programmiersprachen keine „eingebauten" Funktionen (in Pascal sind Funktionen wie `"writeln"` oder `"abs"` von Anfang an vorgegeben). In C ist das so konzipiert, daß man immer Includefiles (so wie `"stream.h"`), in denen dann die Funktionsdeklarationen stehen, benutzen muß. Der Linker bindet dann die benutzten Funktionen ein.

Erfreulicherweise gehören zur Sprachdefinition von ANSI C auch genormte Bibliotheken, so daß C-Programme theoretisch problemlos auf andere Rechner portiert werden können. Bei C++ ist man leider noch nicht so weit: hier gibt es nur als Konvention die Datei `"stream.h"`, deren Inhalt aber so genau gar nicht festgelegt ist.

Außerdem gibt es noch ein paar Spezialfunktionen von MaxonC++ und last not least die Amiga-Betriebssystemfunktionen. In diesem Abschnitt soll aber vor allem von den Standardfunktionen die Rede sein.

1.6.7.2 Ein- und Ausgabe: <stdio.h>

Die Includedatei `"stdio.h"` deklariert die Funktionen, die unter C zur Ein- und Ausgabe von Daten dienen (da man in C keine Operatoren überladen kann, fallen `"cout"` und `"cin"` hier flach).

Die wohl bekannteste C-Funktion ist `"printf"`, wobei Sie das `"print"` wahrscheinlich schon aus BASIC-Tagen kennen und das `"f"` für „Format" steht. Also dient `"printf"` zur universellen formatierten Ausgabe von Daten.

Als ersten Parameter erwartet `"printf"` einen sog. Formatstring. Das ist eine beliebige Zeichenkette, die dann im Prinzip auch ausgegeben wird, nur daß das Zeichen `'%'` dabei eine besondere Bedeutung hat: `'%'`, gefolgt von Formatangaben und einem Buchstaben, fügt an dieser Stelle des Strings Daten ein, die man hinter dem Formatstring angibt.

Ein Beispiel:

```
#include <stdio.h>

void main()
{ int a = 17, b = 4;
  printf("Die Summe von %d und %d ist: %d\n", a, b, a+b);
}
```

Wo immer `"%d"` in der Zeichenkette auftritt, nimmt `"printf"` das nächste Element aus der Parameterliste und gibt es an dieser Stelle als `"int"` aus. Dabei gibt es noch etliche Variationen: Bei `"%x"` erfolgt die Ausgabe in Hexadezimal, `"%hd"` bzw. `"%hx"` geben entsprechend `"short"`- oder `"unsigned short"`-Daten aus, `"%e"`, `"%f"` und `"%g"` geben `"double"`-Zahlen in unterschiedlichen Formaten aus usw. Dabei programmieren Sie übrigens ohne Netz und doppelten Boden, denn die Typen der Parameter hinter dem Formatstring werden nicht geprüft. Wenn Sie also einen „short int"-Wert mit `"%d"` statt `"%hd"` ausgeben, werden Sie unsinnige Ausgaben erhalten.

Alles in allem ist `"printf"` eine sehr mächtige Funktion, die weitaus flexiblere Ausgaben als `"cout"` ermöglicht, manchmal aber auch etwas komplizierter zu handhaben ist.

Es gibt dann noch die Funktion `"scanf"` für formatierte Eingaben. Ihr muß man Zeiger auf die einzulesenden Variablen übergeben, aber Zeiger werden erst im nächsten Kapitel behandelt.

Vor allem enthält `"stdio.h"` aber die gesamte Dateibehandlung. Die Funktion `"fopen"` öffnet eine Datei, `"fclose"` schließt sie, und mit `"fprintf"` und `"fscanf"` kann man formatiert in eine Datei schreiben bzw. aus ihr lesen.

1.6.7.3 Zeichen, Zeichenketten und Bytefolgen: <ctype.h> und <string.h>

Die Datei `"ctype.h"` deklariert kleine Funktionen auf Zeichen. Beispielsweise liefert die Funktion `"isalpha(c)"` den logischen Wert „wahr", wenn ihr Argument ein Buchstabe ist. Entsprechend stellen `"islower(c)"` und `"isupper(c)"` fest, ob ihr Argument ein Klein- bzw. Großbuchstabe ist. Entsprechende Funktionen gibt es auch für den Test auf Ziffer, Steuerzeichen und anderes.

Diese Funktionen sind vor allem deshalb wichtig, weil auch heute nicht jede (aber fast jede) Maschine den ASCII-Code benutzt. In ASCII könnte man

```
if (isupper(c))
```

ersetzen durch

```
if (c >= 'A' && c <= 'Z')
```

Das muß aber auf Nicht-ASCII-Systemen keineswegs so sein. Auf diese Weise verbessern die `<ctype.h>`-Funktionen die Portabilität von Programmen.

Nützlich sind auch `"tolower(c)"` und `"toupper(c)"`: Erstere wandelt ihr Argument, wenn es ein Großbuchgstabe ist, in einen Kleinbuchstaben und gibt es andernfalls unverändert zurück, letztere wandelt entsprechend Klein- in Großbuchstaben.

In `<string.h>` stehen die elementaren Funktionen für die Stringbehandlung von ANSI C, z. B. Kopieren, Aneinanderhängen oder Vergleichen von Zeichenketten. Zur näheren Erläuterung dieser Funktionen müßten Sie sich aber mit Zeigern und Vektoren auskennen, aber das steht erst im nächsten Kapitel.

Aus selbigem Grund sollen die `"mem"`-Funktionen, die ebenfalls in `"string.h"` deklariert werden, hier nur kurz erwähnt werden. Sie stellen Operationen auf Speicherblöcken dar.

1.6.7.4 Fließkommafunktionen: <math.h>

Wenn Sie die Includedatei `"<math.h>"` in Ihr Programm aufnehmen, stehen Ihnen die wichtigsten mathematischen Funktionen zur Verfügung. Vor allem werden dort `"double"`-Funktionen wie

```
double sin (double)
```

deklariert, die - Sie werden es erraten haben - den Sinus ihres Arguments berechnet. Entsprechend berechnen die Funktionen `"cos"` den Cosinus und `"tan"` den Tangens. Bei diesen trigonometrischen Funktionen sind Winkel stets im Bogenmaß (Radian) anzugeben, d. h. 360 Winkelgrad entsprechen 2*Pi.

Natürlich gibt es hier neben vielen anderen auch die Funktionen `"exp"` (für die Exponentialfunktion), `"log"` (natürlicher Logarithmus), `"sqrt"` (Quadratwurzel) und `"fabs"` (Betrag). `"floor"` rundet ab (liefert also die nächstkleinere ganze Zahl), wobei das Ergebnis aber trotzdem ein `"double"`-Wert ist, und `"ceil"` rundet entsprechend auf.

MaxonC^{++} bietet in `"<math.h>"` außerdem noch einige Funktionen, die Zahlen in ihre Zeichendarstellung verwandeln.

1.6.7.5 Die C-Fundgrube: <stdlib.h>

Alle wichtigen Funktionen, die sich unter keine der bisherigen Rubriken einordnen ließen, wurden in `<stdlib.h>` untergebracht. Besonders wichtig ist hier wohl die Funktion

```
void exit(int)
```

Sie bricht die Programmausführung ab, als wäre das Ende der Funktion `"main"` erreicht worden, und gibt eine Zahl (z. B. einen Fehlercode) an das aufrufende System zurück.

Häufig braucht man auch die Funktionen `"abs"` und `"labs"`, die den Betrag eines `"int"`- bzw. `"long int"`-Parameters berechnen. Wie Sie sehen, beherrscht ANSI C kein Überladen von Funktionen...

Praktisch ist auch die Funktion `"rand()"`, die eine ganzzahlige Zufallszahl im Bereich von `0` bis `32767` berechnet. In Wirklichkeit handelt es sich dabei nicht um Zufallszahlen, sondern um eine Zahlenfolge, die nur so aussieht, als wäre sie zufällig. Deshalb ist es auch nötig, den Startwert dieser Folge vor der ersten Benutzung von `"rand"` mit der Funktion `"srand(unsigned int)"` zu setzen, meist benutzt man hier die Systemzeit oder etwas Ähnliches.

MaxonC++ bietet Ihnen hier noch zwei andere Funktionen, oder sagen wir besser: eine überladene Funktion:

```
double Random()
```

liefert eine Fließkomma-Zufallszahl im Bereich von `0` bis `1`, und

```
unsigned int Random(unsigned int n)
```

berechnet eine Zufallszahl im Bereich von `0` bis `n-1`. So kann man z. B. mit `"Random(6)+1"` einen Würfel simulieren. Die beiden „Random"-Funktionen benutzen nicht nur ein Standardverfahren, sondern als zusätzliches Zufallselement die aktuelle Rasterposition des Elektronenstrahls. Deshalb müssen sie auch nicht mit `"srand"` initialisiert werden.

Außerdem enthält `"stdlib.h"` Funktionen, die Zeichenketten in Zahlen verwandelt, und die ANSI-C-Funktionen zur Speicherverwaltung (z. B. `"malloc"`). Letztere dürfen Sie aber getrost vergessen, denn in C++ geht das viel eleganter. Nützlich ist auch die Funktion `"qsort"`, die ein Datenfeld nach dem Quicksort-Verfahren sortiert.

Dieser Abschnitt hat Ihnen hoffentlich einen kleinen Überblick über die Funktionen von ANSI C gegeben. Alles weitere finden Sie im Referenzteil dieses Handbuchs.

2. Datentypen und Deklarationen

2.1 Vektoren, Zeiger und Referenzen

2.1.1 Pointer

2.1.1.1 Von Objekten und Adressen

Ein zentrales Konzept der Programmierung in C (und Quelle ewiger Verzweiflung für Anfänger) sind die Zeiger, auf neudeutsch auch „Pointer" genannt. Um in diesem Zusammenhang Konfusion von Anfang an zu vermeiden, sollten wir uns erst einmal genauer ansehen, was im Speicher so los ist.

Eine Variable in C ist ein Datenobjekt, das irgendwo im Speicher liegt. Wahrscheinlich (hoffentlich) wissen Sie, wieviel Bytes RAM Ihr Amiga hat. Damit der Prozessor damit auch etwas anfangen kann, sind alle diese Bytes durchnumeriert - das nennt man die „Adresse" eines Speicherbytes. Beim 68000-er Prozessor, der (eventuell in verbesserter Ausführung) in jedem Amiga steckt, ist eine Adresse 32 Bit breit, genau wie z. B. ein `"int"` in MaxonC++. Theoretisch kann man damit also gediegene 4 Gigabyte Speicher adressieren (Adressen betrachtet man übrigens normalerweise als vorzeichenlos). Jeder real existierende Amiga hat natürlich weniger RAM, so daß viele Adressen nicht benutzt werden. Trotzdem ist eine Adresse stets 32 Bit groß.

Nun ist ein Byte nicht gerade viel, nämlich gerade genug, um darin ein Zeichen (z. B. eine `"char"`-Variable) abzulegen. „Breitere" Datentypen nehmen dann entsprechend mehrere Bytes ein, die stets an aufeinanderfolgenden Adressen liegen. Als Adresse dieses größeren Datengebildes gilt dabei stets die Adresse des ersten Bytes. Wenn also ein `"int"`-Objekt die vier Speicherbytes von `0x00053ac4` bis einschließlich `0x00053ac7` belegt (Adressen gibt man gerne als hexadezimale Zahlen an), sagt man einfach, es liegt an Adresse `0x00053ac4`.

Nun könnte man ganz einfach eine Speicheradresse eines Objekts in einer Variablen des Typs `"unsigned int"` abspeichern und dies dann als Verweis oder Zeiger auf die Speicherstelle benutzen. Weil das Zeigerkonzept aber so enorm wichtig und nützlich ist, wird es von C noch viel weitreichender unterstützt: Man kann sich zu jedem Datentypen `"X"` einen Pointertypen `"Zeiger auf X"` deklarieren. Der unäre Operator `"&"`, der einem Objekt vorangestellt wird, liefert die Adresse dieses Objekts, die dann automatisch vom entsprechenden Pointertyp ist. Mit dem unären `"*"`-Operator erhält man dann umgekehrt wieder aus einem Zeigerausdruck das dadurch „referierte" Datenobjekt.

Klingt das kompliziert? Nun, dann wollen wir gleich zur Praxis übergehen.

2.1.1.2 Zeiger: Deklaration und elementare Operationen

Wie oben bereits angedeutet, gibt es nicht nur einen einzigen Datentyp „Zeiger", sondern zu jedem einzelnen Datentyp einen entsprechenden Pointertyp. Folglich gibt es auch „Zeiger auf Zeiger" und „Zeiger auf Zeiger auf Zeiger auf...", also unendlich viele Datentypen. Natürlich kennt der Compiler

nicht unendlich viele vordefinierte Namen für alle diese Typen. Deshalb müssen wir hier erstmals einen Datentypen selbst definieren, indem wir ihn beschreiben.

Ein (übrigens nicht sehr schlaues) Prinzip der C-Syntax ist, daß die Deklaration einer Variablen möglichst genau wie ihre Benutzung aussehen soll. Nehmen wir an, `"p1"` soll ein Zeiger auf einen `"double"`-Wert sein. Dann ist, wie oben bereits angedeutet, `"*p1"` eben das `"double"`-Wort, auf das `"p1"` gerade zeigt. Deshalb deklarieren wir die Zeigervariable `"p1"` folgendermaßen:

```
double *p1;
```

Das ist relativ einleuchtend: wir deklarieren nämlich, daß `"*p1"` vom Typ `"double"` sein soll, folglich ist `"p1"` ein Zeiger auf `"double"`. Man sagt auch: `p1` ist vom Datentyp `"double*"`. Deshalb sollten Sie aber nicht in Versuchung geraten, mehrere Pointervariablen so zu deklarieren:

```
int* i1, i2;  // Vorsicht!
```

Hier gehört das `"*"` ausschließlich zu `"i1"`. Demnach deklariert diese Zeile `"i1"` als Zeiger auf `"int"` und `"i2"` als `"int"`. Mehrere Zeiger muß man so deklarieren:

```
int *i1, *i2, *i3;
```

Unmittelbar nach der Deklaration ist ein Zeiger, genau wie alle anderen Variablen auch, undefiniert und zeigt „irgendwohin". Bevor man ihn benutzt, sollte man ihm also unbedingt einen sinnvollen Wert geben, z. B. auf eine andere Variable zeigen lassen. Das könnte so aussehen:

```
#include <stream.h>

void main()
{  int i1 = 41, i2 = 98; // Zwei ganz normale int-Variablen

   int *ip = &i1;        // Jetzt zeigt ip auf i1

   cout « *ip;           // Gibt den Wert von i1 aus

   i1++;                 i1 wird verändert

   cout « *ip;           // Jetzt wird der NEUE Wert ausgegeben

   ip = &i2;             // Nun zeigt ip auf i2

   *ip = 26731;          // Wert von i2 wird über ip geändert

   cout « i2;            // Also Ausgabe "26731"
}
```

Der Operator `"&"` liefert die Adresse eines Objekts, wobei das Ergebnis den jeweiligen Pointertyp hat. Also ist im obigen Beispiel `"&i1"` ein Ausdruck des Typs `"int*"` und somit eine passende Initialisierung für die Variable `"ip"`. Nun zeigt `"ip"` also bis auf weiteres auf `"i1"`, und wir können `"*ip"` synonym zu `"i1"` verwenden. Wenn wir also `"*ip"` mit `"cout"` ausgeben, wird immer

der Wert ausgegeben, denn `"i1"` gerade hat, nicht etwa der, den `"i1"` im Zeitpunkt der Zuweisung hatte.

Nicht nur der Wert des Objekts, auf das ein Pointer zeigt, sondern auch der Wert eines Pointers selbst kann verändert werden. Um das zu demonstrieren, wird im Beispielprogramm `"ip"` anschließend die Adresse von `"i2"` zugewiesen. Und zu allem Überfluß wird danach auch noch der Wert von `"*ip"` verändert! Da `"ip"` jetzt aber auf `"i2"` verweist, ist klar, was das bedeutet: nun ändert sich der Wert von `"i2"`, ohne daß wir diesen Variablennamen auch nur erwähnen!

Daß Variablen auf diese Weise unter einem anderen Namen benutzt werden können und man außerdem noch zwischen einer Zeigervariablen und dem von ihr referierten Objekt unterscheidet, ist für Anfänger oft so verwirrend, daß sie beschließen, auf Pointer ganz zu verzichten und so viele Dinge niemals realisieren können. Ich empfehle Ihnen dringend, sich nicht abschrecken zu lassen, wenn man sich einmal etwas daran gewöhnt hat, ist das alles absolut trivial.

2.1.1.3 Zeiger als Funktionsparameter

In C benutzt man Zeiger gern, um Variablenwerte von Funktionen verändern zu lassen, denn C kennt (im Gegensatz zu C++) keine „VAR-Parameter" wie Pascal. Ein kleines Beispiel:

```
#include <stream.h>

void Quadriere (int *par)
{
   *par = *par**par;  // Schlechter Stil, übersichtlicher wäre:
                      // *par = (*par) * (*par)
}

main()
{  int i = 17;

   Quadriere (&i);        // Wir übergeben nicht "i", sondern einen
                          // Zeiger darauf!
   cout « "17^2 ist: " « i;
}
```

Die Funktion `"Quadriere"` ist als `"void"` deklariert, liefert also keinen Wert direkt zurück. Vielmehr erwartet sie als Argument einen Zeiger auf ein `"int"`-Objekt, dessen Wert sie quadriert und dann in eben jenem Objekt ablegt. Die chaotische Ansammlung von `"*"`-chen (teils ist der unäre Inhaltsoperator, teils der binäre Multiplikationsoperator gemeint) soll hier nur illustrieren, daß man ein Programm mit Pointeroperationen leicht unübersichtlich gestalten kann. In der Praxis sollte man wohl besser Klammern zur Gliederung verwenden.

Beim Aufruf der Funktion muß man dann natürlich nicht die Variable selbst, sondern einen Zeiger darauf als Argument übergeben. Diese Art der Parameterübergabe ist also erheblich umständlicher als ein VAR-Parameter in Pascal. Aber keine Panik: C++ bietet, als Erweiterung gegenüber C, Referenztypen, mit denen man genau das viel schöner realisieren kann.

Übrigens kann eine Funktion auch einen Zeiger zurückgeben:

```
int *pfun()
{ int j = 99;
  return &j;          // Vorsicht!!!
}

void main()
{ cout « *pfun();  // Ergebnis undefiniert!
}
```

Die Funktion `"pfun"` liefert hier als Ergebnis einen Zeiger auf eine lokale Variable, aber nach Beendigung der Funktion existiert diese Variable nicht mehr, so daß das Funktionsergebnis hier lediglich dahin zeigt, wo die Variable `"j"` einmal gewesen ist. Es gibt keine Garantie, daß dieser Speicherplatz nach dem Funktionsaufruf nicht sofort wieder überschrieben wird. Also sollte man sich immer gründlich überlegen, welchen Zeiger man aus Funktionen gefahrlos hinausreichen kann.

2.1.1.4 Zeigertypen

Bisher habe ich Ihnen diskret verschwiegen, daß ein `"int*"` etwas ganz anderes als z. B. ein `"char*"` ist. Zwar werden beide intern als 32 Bit breite Adresse dargestellt, aber trotzdem ist es so ohne weiteres nicht erlaubt, unterschiedliche Zeiger einander zuzuweisen:

```
int *i, *ii;
char *c;

ii = i;           // Erlaubt, denn gleiche Typen
c = i;              // Verboten!
c = (char*) i;// So geht's.
```

Wenn man einen Zeiger in einen anderen Zeigertyp umwandeln will, muß man das also (z. B. mit einem Cast) deutlich sagen, denn auf diese Weise kann man erheblichen Schaden anrichten - den Rechner zum Absturz zu bringen, ist nicht weiter schwierig! Immerhin ist ein `"int*"` ein Zeiger auf das erste von vier Bytes, während ein `"char*"` auf ein einzelnes Byte zeigt. Würde man im letzten Beispiel eine Zuweisung an `"*c"` vornehmen, so würden also das erste Byte von `"*i"` verändert und die drei anderen unverändert bleiben - also wäre der Wert von `"*i"` irgendetwas (wahrscheinlich) Sinnloses. Noch fataler wäre folgende Zuweisungsfolge:

```
// c zeigt auf irgend so ein char
i = (int*) c;
*i = 4711;     // PANIK!
```

Die Zuweisung an `"*i"` verändert nicht nur den Wert von `"*c"`, sondern auch die drei folgenden Bytes, und da wir nicht wissen, ob diese drei Bytes irgendeine besondere Bedeutung haben, ist das Ergebnis völlig unbestimmt!

Es gibt aber einen besonderen Pointertypen, der für alle anderen stehen darf, nämlich `"void*"`. Das ist, wie der Name schon sagt, ein Zeiger auf „nichts Besonderes". Ein `"void"`-Pointer repräsen-

tiert zwar eine Speicheradresse, zeigt aber auf kein wirkliches Objekt, bzw. auf ein Objekt des Typs `"void"`.

```
void main()
{ int i;
  int *ip = &i;
  void *vp;

  vp = ip;        // Erlaubt
  ip = vp;        // In C++ falsch
  *vp = 99;       // Noch falscher
}
```

Der Zeiger `"ip"` darf ohne explizite Typwandlung an den Voidpointer `"vp"` zugewiesen werden, denn mit einem `"void"` kann man so gut wie nichts machen, so daß für das von `"ip"` referierte Datenobjekt keine Gefahr besteht. Umgekehrt wird aber bei der Zuweisung `"ip = vp"` ein Fehler gemeldet, denn hier wird ja wieder einmal ein „Zeiger auf irgendwas" in einen ganz bestimmten Zeigertypen umgewandelt. Falls Sie das wirklich wollen, müssen Sie hier wieder einen Cast setzen.

Die letzte Zeile zeigt dann auch, warum `"vp = ip"` zulässig war. Es ist nicht möglich, mit der Speicheradresse, auf die ein `"void*"` zeigt, etwas Gravierendes anzustellen, es sei denn, man wandelt den `"void"`-Pointer wieder in einen anderen Zeigertyp um, z. B. so:

```
*(int*)vp = 99;     // wandle "vp" erst in ein "int*" um
```

Nebenbei bemerkt haben wir es hier wieder mit einem Unterschied zwischen C und C++ zu tun: In C ist es nämlich erlaubt, ein `"void*"` ohne Casting in einen beliebigen Zeigertypen umzuwandeln. Das ist wieder einmal ein Beispiel dafür, daß man in C++ viel sauberer und sicherer programmieren kann als in C.

Man kann einen Zeiger auch, wenn es unbedingt sein muß, in eine Zahl umwandeln und wieder zurück. Ein Beispiel:

```
#include <stream.h>

void main()
{ int var;
  cout « "var liegt an Adresse: " « (unsigned int)&var;
}
```

Das obige Beispiel ist übrigens nicht portabel! Es ist keineswegs garantiert, daß ein `"int"` und ein Zeiger gleich breit sind (in diesem Fall: beide jeweils 32 Bit haben). Auf manchen Systemen ist ein `"int"` 16 Bit breit, wie `"short int"` unter MaxonC++, so daß im Beispiel nicht die Adresse, sondern nur deren untere 16 Bit ausgegeben würde. Wenn Sie in dieser Situation nach `"long"` wandeln, dürfte es auf den meisten Systemen klappen, aber noch nicht einmal das ist strenggenommen garantiert. Somit dürfte klar sein, daß Umwandlungen zwischen Zahlen und Zeigern eine etwas problematische Sache sind.

Eine Ausnahme gibt es allerdings: Die konstante Zahl `"0"` kann direkt in jeden Zeigertyp umgewandelt werden. Das benutzt man gern, um anzuzeigen, daß der Zeiger gerade auf „nichts" zeigt.

2.1.1.5 Was man sonst noch so mit Zeigern machen kann

Man darf Zeigerausdrücke gleichen Typs auch mit den Operatoren

```
==   !=   <   >   <=   >=
```

vergleichen. Dabei werden dann die Speicheradressen verglichen, als wären sie `"unsigned"`-Zahlen. So kann man mit `"=="` bzw. `"!="` feststellen, ob zwei Pointer auf dasselbe Objekt zeigen. Die anderen Operationen sind eigentlich nur dann sinnvoll, wenn die beiden Zeigerausdrücke auf Elemente desselben Vektors zeigen (siehe Abschnitt 2.1.2).

Natürlich kann man Zeiger auch mit dem ausgezeichneten Zeigerwert `"0"` vergleichen:

```
double *dptr;

// ...irgendwas

if (dptr == 0)
{ // usw.
```

Es wird garantiert, daß kein Datenobjekt an Adresse `0` liegt, so daß die `"if"`-Abfrage hier feststellt, ob `"dptr"` auf „nichts" zeigt.

Ein Zeigeraudruck kann auch direkt als logische Bedingung dienen und gilt als „wahr", wenn er nicht `"0"` ist. Also kann man die `"if"`-Anweisung verkürzen zu:

```
if (dptr)
{ // usw.
```

Ebenso kann ein Zeigerausdruck direkt als Operand der logischen Operatoren `"!"`, `"&&"` und `"||"` benutzt werden.

Leider ist es möglich, auf die von einem „Nullzeiger" referierte Adresse zuzugreifen:

```
double *dp = 0;

*dp = 17.4; // VORSICHT!
```

Dieses Programmfragment dürfte den Amiga zum Absturz bringen, denn an den Adressen `0` bis `7`, die hier gnadenlos überschrieben werden, liegen durchaus wichtige Betriebssystemdaten. Solche Aktionen sind, genau wie andere Operationen auf gar nicht oder sinnlos initialisierten Zeigern, deshalb möglich,

1. weil der Compiler nicht schon beim Übersetzen feststellen kann, ob eine Zeigervariable an einer bestimmten Stelle einen sinnvollen Wert hat. Ein so simples Beispiel wie das letzte, bei dem direkt nacheinander ein Zeiger auf `0` gesetzt wird und dann das referierte Objekt manipuliert

wird, könnte ein schlauer Compiler zwar abfangen. Es ist aber (und das ist mathematisch beweisbar!) möglich, jeden noch so geschickt geschriebenen Compiler hinters Licht zu führen.

2. weil es einfach zu viel Rechenzeit kosten würde, zur Laufzeit des Programms vor jeder Zeigeroperation erst festzustellen, ob der Pointer auf einen sinnvollen Wert zeigt. Auch hier gilt der Grundsatz: „Der C-Programmierer weiß, was er tut."

Pointer haben vieles mit den Vektoren, die im nächsten Kapitel besprochen werden, gemeinsam. Deshalb kann man die binären Operatoren `"+"` und `"-"` sowie den Indexoperator `"[ ]"` darauf anwenden. Aber das gehört dann auch schon in das folgende Kapitel:

2.1.2 Vektoren

2.1.2.1 Das Vektor-Konzept in C

Praktisch jede Programmiersprache kennt so etwas wie Felder, Arrays oder Vektoren, nur die Bezeichnungen sind unterscheidlich und werden auch beliebig durcheinander verwendet. Das Prinzip ist aber immer das gleiche: Ein Datenobjekt besteht aus einer endlichen Anzahl von Elementen, die jeweils denselben Typ besitzen und durchnumeriert sind. Sowohl der Vektor als auch jedes einzelne seiner Elemente kann man als Datenobjekt auffassen.

Sei `"v"` ein Vektor, der aus 10 Elementen des Typs `"int"` besteht. Dann heißen die einzelnen Elemente

```
v[0], v[1], v[2], ..., v[8], v[9]
```

Also greift man auf ein Element eines Vektorausdrucks zu, indem man den „Index", der ein beliebig komplizierter `"int"`-Ausdruck sein kann, in eckigen Klammern hinter den Vektorausdruck stellt. Man beachte, daß Indizes (bitte nicht „Indexe" sagen!) in C immer von `0` an gezählt werden. Jedes dieser Vektorelemente ist dann eine eigenständige Variable (hier: ein `"int"`-Objekt) und kann auch als solche in Programmen verwendet werden.

Die eckigen Klammern gelten übrigens als Operator, und zwar als Postfix-Operator, der stärker bindet als z. B. die vorangestellten unären Operatoren.

Natürlich müssen auch Vektoren deklariert werden. Wieder einmal gilt hier, daß die Deklaration wie die Benutzung aussehen soll. Also wird der Vektor `"v"` so deklariert:

```
int v[10];  // deklariert den Vektor v[0], v[1], ..., v[9] !!!
```

Ein kleines Beispiel für Vektoren:

```
// Ein kleines Statistik-Programm

#include <stream.h>

void main()
```

```
{ int i;
  double dat[20];

  cout « "Bitte geben Sie 20 Zahlen ein:\n";

  for (i=0; i<20; i++)
  { cout « "Zahl " « i+1 « ": ";
    // C zählt von 0 bis 19, der Benutzer wahrscheinlich lieber
    // von 1 bis 20. Deshalb wird hier "i+1" ausgegeben.
    cin » dat[i];
  }

  double sum = 0;
  for (i=0; i<20; i++)       // Wie summieren die
    sum += dat[i];             // eingegebenen Zahlen

  double mittel = sum/20;    // Mittelwert = Summe/Anzahl

  cout « "\nSumme:       " « sum;
  cout « "\nMittelwert: " « mittel;
  cout « "\n";
}
```

Leider muß die Größe eines Vektorobjekts immer eine Konstante sein. Wenn das Programm dahingehend verbessert werden soll, daß der Benutzer wählen kann, wie viele Zahlen er einzugeben gedenkt, bleibt uns (vorerst) nichts anderes übrig, als einen ziemlich großen Vektor (vielleicht `"dat[1000]"`) einzurichten und dann nur die benötigten Elemente davon zu benutzen.

C prüft nicht, ob ein Index im „erlaubten" Bereich liegt! Hätte man oben nur `"dat[10]"` deklariert und dann trotzdem 20 Elemente benutzt, wäre das Ergebnis `"undefiniert"`, was in der C-Sprachdefinition der übliche Euphemismus für „Absturz" ist. Auch hier gilt einmal wieder: „Wer in C programmiert, muß wissen, was er tut".

Es gibt keine mehrdimensionalen Vektoren, sondern nur „Vektoren von Vektoren", was im Prinzip auf dasselbe hinauskommt. Ein Schachbrett, das bekanntlich aus 8*8 Feldern besteht, könnte man so darstellen:

```
char Brett[8][8];
```

Entsprechend kann man dann mit `"Brett[ i ][ j ]"` auf das Element in der `"i"`-ten Zeile und `"j"`-ten Spalte zugreifen, oder umgekehrt. Das hängt ganz davon ab, ob Sie den ersten Index nun als Zeilen- oder Spaltennummer betrachten. Andererseits stellt dann aber auch `"Brett[i]"` eine einzelne Zeile (bzw. Spalte) dar. Wir haben es also tatsächlich mit einem Vektor von Vektoren und nicht einem einzelnen zweidimensionalen Vektor zu tun.

2.1.2.2 Zeiger und Vektoren

Jetzt werden Sie sich vielleicht wundern, aber ein Vektor und ein Zeiger sind in C fast dasselbe! Dies gehört zu jenen komischen Features, die den Leuten damals bei der Einführung von C ungeheuer toll vorkamen, heute aber nur noch ärgerliche Anachronismen sind.

Die Sache ist, kurz gesagt, folgende: Ein Pointer verweist normalerweise auf eine Speicherstelle. Aber oft sind ja auch die Speicherbereiche davor und dahinter von Interesse. Deshalb kann man einen Zeiger ebenfalls mit einem Index versehen, als ob er ein Vektor wäre. Betrachten wir einmal folgende Deklarationen:

```
int vector[100];
int *pointer = &vector[20];
```

Nun zeigt `"pointer"` auf das zwanzigste Element von `"vector"`, und wir können `"*pointer"` synonym zu `"vector[20]"` benutzen. Intern wird ein Vektor aber realisiert, indem die Elemente hintereinander im Speicher liegen. Direkt hinter `"vector[0]"` liegt im Speicher also `"vector[1]"`, worauf `"vector[2]"` folgt usw. Jetzt machen wir eine kleine Wertzuweisung, die Sie vielleicht verwundern wird:

```
pointer = pointer+5;
```

Wird zu einem Zeigerausdruck ein ganzzahliger Ausdruck addiert, so ist das Ergebnis ein Zeiger auf die um entsprechend viel Vektorelemente weiter liegende Speicheradresse. Also ist `"pointer+5"`, wenn `"pointer"` auf das 20-ste Element von `"vector"` zeigt, ein Pointer auf `"vector[25]"`. Man kann im Prinzip zu jedem Zeigerausdruck etwas addieren, aber Sinn hat das natürlich nur, wenn der Zeiger gerade in einen Vector zeigt.

Entsprechend kann man auch die Subtraktion `"-"` und die Operatoren `"+="`, `"-="`, `"++"` und `"--"` auf Zeiger anwenden: Nach

```
pointer -= 5;
```

zeigt unser `"pointer"` wieder auf das zwanzigste Element von `"vector"`.

Nun dürfte klar sein, daß

```
*(pointer+n)
```

den Inhalt des Vektorelements liefert, der `"n"` Positionen hinter dem liegt, auf das `"pointer"` gerade zeigt. Und dafür gibt es (die Überraschungen reißen nicht ab) eine schönere Schreibweise:

```
pointer[n]
```

Das sieht jetzt aus wie ein ganz normaler Vektorzugriff, und das ist es auch. Wieso das?

Computer können von Natur aus leicht mit Zeigern, die ja im Prinzip nur eine Speicheradresse repräsentieren, umgehen. Mit so großen und unhandlichen Gebilden wie Vektoren tun sie sich dagegen relativ schwer, was ganz einfach daher kommt, daß ein so großes Datenobjekt nicht in ein Prozessorregister paßt, sondern langsam und umständlich durch den Speicher geschoben werden muß. Also entschied man bei der Definition von C, Vektoren stets nur als Zeiger zu verwenden: Nach der Deklaration

```
double dat[10];
```

wird für "dat" zwar ein zehn Elemente umfassender "double"-Vektor eingerichtet. Der Bezeichner "dat" ist dann aber ein Ausdruck des Typs „Zeiger auf double" und entspricht einem Zeiger auf das erste (also „nullte") Vektorelement:

dat ist identisch mit &dat[0]

Folglich könnte man schreiben:

```
int vector[100];
int *pointer = vector;     // Entspricht "&vector[0]"
```

Um "pointer" wieder auf das zwanzigste Element zu setzen, kann man also

```
int vector[100];
int *pointer = vector+20;
```

deklarieren. Der „normale" Vektorzugriff

```
v[i]
```

ist nur eine andere Schreibweise für

```
*(v+i)
```

Mit diesen Features kann der echte C-Freak zwar echt lässig durch die Gegend pointern, aber übersichtlich ist das natürlich nicht.

An dieser Stelle ist wohl wieder ein Beispiel angebracht: Das folgende Beispiel setzt alle Elemente eines "int"-Vektors auf Null, benutzt dafür aber keine Schleife von 0 bis 99, sondern läßt einen Zeiger vom 0-ten bis zum 99-sten Element laufen:

```
void main()
{ int vector[100];
  for(int *pointer = vector; pointer != &vector[100];
    pointer++)
    *pointer = 0;
}
```

Der Zeiger "pointer" wird also zu Beginn der "for"-Schleife auf das erste Vektorelement gesetzt. Solange "pointer" nicht auf das hundertste Element zeigt (das es eigentlich gar nicht gibt, da der Vektor nur bis 99 reicht), wird das von "pointer" referierte Element auf 0 gesetzt und anschließend der Zeiger inkrementiert, also um ein Element weitergesetzt.

Nervenstarken C-Anfängern sei noch gesagt, daß ein ultimativer Hard-Core-C-Coder folgendes geschrieben hätte:

```
void main()
{ int vector[100], *pointer = vector+100;
  while(pointer > vector)
    *--pointer = 0;
}
```

```
/* Der Zeiger "pointer" wird mit der Endadresse des Vektors "vector"
initialisiert. Solange er größer ist als die Anfangsadresse von
"vector", wird er dekrementiert, d. h. um ein Vektorelement
zurückgesetzt, und dann das referierte Vektorelement auf 0 gesetzt */
```

Einer der vielen Schwachpunkte des Vektorkonzepts in C besteht darin, daß man Vektoren nicht einander zuweisen kann. Folgendes ist z. B. nicht möglich:

```
void main()
{  int v1[50], v2[50];   // Zwei Vektoren

   v1 = v2;              // ERROR
}
```

Das folgt direkt aus diesem seltsamen Vektorkonzept, denn `"v1"` ist demzufolge ja nur die Anfangsadresse der ersten Vektorelements, und eine Adresse allein ist kein L-Wert. Somit wäre die Zeile

```
v1 = v2;  // Gedacht als Wertzuweisung zwischen Vektoren
```

gleichbedeutend mit

```
&v1[0] = &v2[0]; // Gleichsetzen von Adressen? Häh???
```

und das hat ja nun wirklich keinen Sinn. Wenn man in C einen Vektor in einen anderen kopieren will, muß man das (am besten mit einer Schleife) elementweise tun.

2.1.2.3 Genaueres über Vektordeklarationen

Bisher haben wir Vektoren immer in der Form

```
Grundtyp Variablenname [ Anzahl ]
```

deklariert. Eine gültige Typbeschreibung erhält man in C immer, indem man bei einer Variablendeklaration den Variablennamen wegläßt. Also ist

```
int [10]
```

die korrekte Beschreibung des Datentyps „int-Vektor mit zehn Elementen".

Natürlich kann man Zeiger- und Vektortypen miteinander verbinden. Dann kann es aber zu etwas kryptischen Deklarationen kommen, z. B.

```
char *komisch[20];
```

Was ist das jetzt, ein Vektor von Zeigern oder ein Zeiger auf einen Vektor? Hier helfen wieder die beiden goldenen Regeln für das Überleben verworrener C-Deklarationen:

1. Typen und Deklarationen liest man von innen nach außen.
2. Die Deklaration eines Objekts soll idiotischerweise wie die Benutzung aussehen.

Nach Regel 2 könnten wir obiges Objekt beispielsweise so benutzen:

```
*komisch[i]
```

(wobei das Ergebnis dann, wie die Deklaration ja sagt, ein `"char"` ist - wenigstens das wissen wir ja). Nach Regel 1 fangen wir bei der Interpretation innen (beim Bezeichner `"komisch"`) an und müssen nur noch herausfinden, ob wir jetzt zuerst den Index oder das `"*"` anwenden. Wenn Sie gut aufgepaßt haben, wissen Sie noch, daß ein Index als Postfix-Operator gilt, daß `"*"` unter die Rubrik „unärer Operator" fällt und daß Postfix-Operatoren stärker binden als unäre Operatoren. Folglich wird zuerst `"[i]"` auf `"komisch"` angewendet und erst dann `"*"` auf das Ergebnis. Ergo ist `"komisch"` ein Vektor von Zeigern auf `"char"`.

Um einen Zeiger auf einen Vektor zu deklarieren, müssen Sie also Klammern setzen:

```
char (*sehrkomisch)[20];
```

Dann liefert

```
(*sehrkomisch)[i]
```

das `"i"`-te Zeichen in dem `"char"`-Vektor, auf den `"sehrkomisch"` zeigt. Ganz schön komisch, was?

So, und spätestens jetzt dürfte Ihnen wohl klar sein, daß es in der C-Syntax immer noch etwas schlimmer kommen kann, als man denkt. Also dürfte es Sie auch nicht weiter schockieren, daß man die Kombination von Zeiger- und Vektortypen beliebig weit treiben kann, etwa

```
int *(*(**x)[2])[3]
```

Das ist dann - immer schön nach unseren beiden Regeln - ein Zeiger auf einen Zeiger auf einen Vektor zweier Zeiger auf je einen dreielementigen Vektor von Zeigern auf int. Das einzig Schöne an solchen Datentypen ist, daß man sie normalerweise nicht braucht und sich deshalb nicht darum kümmern muß.

Dagegen tauchen Datentypen wie

```
int (*)[10]
```

tatsächlich bisweilen auf (z. B. in Parameterlisten) und bringen auch erfahrene C-Programmierer in Verlegenheit. Die Klammern um das Pointersymbol `"*"` sehen doch ziemlich seltsam aus, zumal

```
int *[10]
```

etwas ganz anderes ist! Hier sollten Sie immer daran denken, daß Datentypen in C dummerweise wie Variablendeklarationen aussehen, nur daß man eben den Variablennamen wegläßt, und der müßte hier in beiden Fällen direkt hinter dem `"*"` stehen. Also ist ersteres die korrekte Schreibweise für „Zeiger auf Vektor", während letzteres „Vektor von Zeigern" heißt.

2.1.2.4 Vektoren als Parameter

Oft will man einen Vektor als Argument an eine Funktion übergeben. Leider kann C auch das nicht, jedenfalls nicht so richtig: das geht nur über Pointer. Nehmen wir einmal an, Sie deklarieren folgende Funktion:

```
void Initialisiere (int v[])
{ for (int i=0; i<10; i++)
     v[i] = 0;
}

void main()
{ int vector[10];
  Initialisiere(vector);
}
```

Wenn man einen skalaren Datentypen - also numerisch oder Pointer - als Argument übergibt, wird bekanntlich eine Kopie des Argumentwerts auf dem Stack abgelegt. Bei Vektor-Parametern macht C aber Probleme: Bei der Funktionsdeklaration ersetzt der Compiler automatisch `"int[10]"` durch `"int*"`. Der Parameter `"v"` ist dadurch also kein Vektor, sondern bloß ein Zeiger auf einen solchen. Es hätte auf das Programm keinerlei Einfluß gehabt, wenn man

```
void Initialisiere (int *v)
```

deklariert hätte.

Daran erkennen Sie unschwer, daß es keine rechte Bedeutung hat, ob wir als Argument nun einen Vektor mit 10 oder 100 Elementen übergeben. Deshalb ist bei Parameterdeklarationen auch die folgende Schreibweise erlaubt:

```
void Initialisiere (int v[])
```

Hier sieht man dann sofort, daß prinzipiell ein beliebiger `"int"`-Vektor als Argument verwendet werden könnte. Wenn der dann allerdings weniger als zehn Elemente hat, schreibt die Funktion gnadenlos darüber hinaus und bringt den Recher schätzungsweise zum Absturz. Deshalb ist es in solchen Situationen klüger, die Vektorgröße als zusätzlichen Parameter zu erwarten, etwa so:

```
void Initialisiere (int v[], int n)
{ for (int i=0; i<n; i++)
     v[i] = 0;
}

void main()
{ int vector[10];
  Initialisiere(vector, 10);
}
```

Mehrdimensionale Vektoren gibt es nicht, nur Vektoren von Vektoren. Erwartet eine Funktion ein derartiges Argument, etwa

```
void Ausgabe (char c[10][80]);
```

so wird in Wirklichkeit ein Zeiger auf `"char[80]"` übergeben. Also wären folgende Deklarationen äquivalent:

```
void Ausgabe (char c[10][80]);
void Ausgabe (char c[ ][80]);
void Ausgabe (char (*c)[80]);
```

Syntaktisch falsch sind dagegen folgende Deklarationen:

```
void Ausgabe (char c[ ][ ]);
void Ausgabe (char c[10][ ]);
```

In beiden Fällen weiß der Compiler zwar, daß der Parameter ein Zeiger auf einen Vektor ist, aber nicht, wie viele Elemente dieser Vektor hat. Also kann er damit nichts Rechtes anfangen, und er beschwert sich.

2.1.2.5 Strings

Konstante Zeichenketten

Bisher hatten wir Zeichenketten nur in konstanter Form kennengelernt. Ein konstanter String ist aber nichts anderes als ein Vektor von Zeichen. Damit man das Ende einer Zeichenkette feststellen kann, wenn man ihre Länge gerade nicht kennt, steht in C am Ende einer Zeichenkette immer ein Nullbyte, wodurch ein String immer um ein Element verlängert wird. Deshalb hat der Ausdruck

```
"Hallo"
```

den Typ

```
char[6]
```

Man kann eine konstante Zeichenkette sogar mit einem Index versehen:

```
cout « "Hallo"[1];
```

gibt a aus.

Eine konstante Zeichenkette kann an einen `"char"`-Zeiger zugewiesen werden, denn allgemein sind in C Zuweisungen `"T* = T[ ]"` für beliebige Typen `"T"` erlaubt. Ein Beispiel:

```
char *string1;

string1 = "Mach's gut, und danke für den Fisch!";
```

Natürlich zeigt `"string1"` jetzt auf die entsprechende konstante Zeichenkette und enthält nicht etwa eine Kopie davon. Deshalb ist es zwar erlaubt, aber eine ziemlich haarige Angelegenheit, eine Stringkonstante zu verändern. Auch dazu ein Beispiel:

```
char *st1 = "Hallo";  st1[1] = 'e';
```

Nun sollte die konstante Zeichenkette von `"Hallo"` in `"Hello"` verwandelt worden sein, was natürlich ziemlich komisch ist, denn auf diese Art und Weise ist eine konstante Zeichenkette ja alles

andere als konstant. Deshalb wird auch allgemein von solchen Konstruktionen abgeraten. Noch dicker kommt es, wenn der Compiler Zeichenketten optimiert:

```
char *st1 = "Test", *st2 = "Test";
st1[2] = 'x';          // Ändere st1 von "Test" nach "Text"
```

Zunächst zeigen beide Pointer auf eine Konstante namens `"Test"`, aber der ANSI-Standard legt nicht fest, ob es sich dabei um dieselbe Konstante handelt! MaxonC++ legt hier zwei Kopien des Strings an, also zeigt `"st2"` nachher immer noch auf `"Test"`. Ein anderer Compiler könnte aber durchaus nur einmal die Konstante `"Test"` anlegen, so daß `"st1"` und `"st2"` auf ein und denselben Speicherbereich zeigen, mit der Folge, daß über `"st1"` immer auch `"st2"` modifiziert wird. Also Pfoten weg von Schreibzugriffen auf konstante Zeichenketten!

Initialisieren, Kopieren und Zuweisen

Ein Vektor von `"char"`-Elementen kann mit einer konstanten Zeichenkette initialisiert werden:

```
char c[20] = "Hallo";
```

Nach dieser Initialisierung gilt:

```
c[0] == 'H', c[1] == 'a', ..., c[4] == 'o', c[5] == '\0'
```

Die restlichen Elemente von `"c"` sind undefiniert.

Bei einer solchen Initialisierung muß der String einschließlich des Nullbytes am Ende in die Variable hineinpassen, sonst meldet der Compiler einen Fehler. Dabei gibt es wieder einen jener spitzfindigen Unterschiede zwischen C und C++: In ANSI C wird bei solchen Initialisierungen nicht verlangt, daß das Nullbyte in die Zeichenkette passen muß. Also ist folgendes unter MaxonC++ nur im C-Modus möglich:

```
#pragma -
char s[4] = "Test";   // 4 Zeichen + Nullbyte: nur in C erlaubt!
```

Wenn man diesen String dann aber ausgeben läßt, kann es sein, daß man eine Überraschung erlebt, denn dabei wird stets alles vom Stringanfang bis zum ersten Nullbyte ausgegeben. Da `"s"` selbst hier kein solches Endzeichen besitzt, wird auch noch das ausgegeben, was zufällig gerade im Speicher hinter `"s"` liegt.

Strings sind elementare, nahezu unverzichtbare Datentypen. Daher ist es schade, daß C sie kaum unterstützt. Wertzuweisungen zwischen `"char"`-Vektoren sind, genau wie bei allen anderen Vektoren, nicht direkt möglich:

```
#include <stream.h>

void main()
{ char str1[20] = "Herforder Pils", str2[20];
  str2 = str1;      // ERROR
  cout « str2;
}
```

Hier bleibt uns nur eins übrig: Wir müssen die Strings Zeichen für Zeichen kopieren. Damit das nicht zu mühsam wird, schreiben wir dazu eine kleine Funktion namens `"strcpy"` wie „String-Copy". Erfreulicherweise wird ein String immer mit einem Nullzeichen abgeschlossen. Deshalb braucht `"strcpy"` nicht zu wissen, wie lang der zu kopierende String ist, sondern kann das selbst feststellen. Auf diese Weise kann man dann `"str2 = str1"` einfach durch

```
strcpy(str2, str1)
```

ersetzen.

Ein erster Entwurf von `"strcpy"` könnte so aussehen:

```
void strcpy(char ziel[ ], char quell[ ])
{ int i;
  for (i=0; quell[i] != '\0'; ++i) // Zeichenweise von "quell"
  ziel[i] = quell[i];  // nach "ziel" kopieren
  ziel[i] = '\0';          // Nullbyte ans Ende von "ziel"
}
```

Das ist eine übersichtliche, gut lesbare Version von `"strcpy"`, wie sie ein C-Anfänger schreiben würde. Ein Fortgeschrittener würde dagegen folgendes tun:

1. Man deklariert die Parameter gleich als Pointer, denn der Compiler wandelt Vektor-Parameter ja sowieso dahin um.
2. Man kann `"quell[i]"` direkt als Bedingung verwenden, denn das bedeutet ja nichts anderes als `"quell[i] != 0"`.
3. Wenn man direkt mit Pointern operiert, spart man sich die Indexvariable.
4. Die Konstante `"'\0'"` kann man ganz einfach durch `"0"` ersetzen, denn in C sind Zeichen ja nichts anderes als Zahlen.

Eine fortgeschrittenere Version von `"strcpy"` sähe dann etwa so aus:

```
void strcpy(char *ziel, char *quell)
{ while (*quell)// Solange "quell" auf ein Zeichen != 0 zeigt, ...
  *ziel++ = *quell++;   // wird dieses nach "*ziel" kopiert,
                                // und beide Zeiger werden
                    // um je ein Zeichen weitergesetzt.
  *ziel = 0;  // Nullbyte ans Ende des Zielstrings schreiben.
}
```

Bitte erzählen Sie mir jetzt nicht, daß das ganz schön unübersichtlich ist - ich bin mir darüber im klaren. Aber erstens ist diese Version kürzer und zweitens schneller als die alte.

In der Praxis brauchen Sie sich zum Glück nicht den Kopf zu zerbrechen, wie Sie `"strcpy"` nun implementieren, denn diese Funktion gibt es bereits fix und fertig. Sie wird im Includefile `"<string.h>"` deklariert und bei Bedarf vom Linker eingebunden:

```
#include <stream.h>
#include <string.h>
```

```
void main()
{ char str1[20] = "Herforder Pils", str2[20];
  strcpy (str2, str1);
  cout « str2;
}
```

Bitte denken Sie daran, daß `"strcpy"` eine Zeichenkette gandenlos kopiert, ganz egal, ob sie nun in die Zielvariable hineinpaßt oder nicht. Unter Umständen wird dann über die Stringvariable hinausgeschrieben, und das hat meist fatale Folgen. Etwas sicherer ist deshalb die Funktion `"strncpy"`, die als zusätzliches Argument die maximale Anzahl der zu kopierenden Strings erhält. Dabei wird aber nicht automatisch ein Nullbyte an das Stringende gesetzt, sondern nur dann, wenn der zu kopierende String auch tatsächlich in den Zielbereich hineinpaßt.

Ein Beispiel dafür:

```
#include <stream.h>
#include <string.h>

void main()
{ char s1[40] = "Live fast - love hard - die young.",

    // J. Joplin
  s2[40] = "On the sunny side of the street.";       // Cadillac

  strncpy(s2, s1, 12);    // maximal 12 Zeichen kopieren

  cout « s2;          // Ergebnis: "Live fast -  side of the street."
}
```

Diesen Effekt kann man auch ausnutzen, um gezielt in einen String hinein zu kopieren. Auch dazu ein Beispiel:

```
#include <stream.h>
#include <string.h>

void main()
{ char s1[20] = "Piss off!";

  strncpy(s1+1, "***", 3);     // String wird zensiert

  cout « s1;          // Ausgabe: "P*** off!"
}
```

Hätte man hier `"strcpy"` statt `"strncpy"` benutzt, wäre auch das vierte Zeichen der Konstanten `"***"`, nämlich das Nullbyte, kopiert und so `"s1"` dahinter abgeschnitten worden.

Stringvergleiche

Oft will man den Inhalt von Strings vergleichen, etwa um festzustellen, ob sie gleich sind oder ob ein String alphabetisch vor dem anderen steht. Dann geht das Elend mit den C-Strings schon wieder los: Wenn man Strings, also Vektoren von Zeichen, mit den normalen Operatoren wie `"=="` oder

"<" vergleicht, vergleicht man effektiv Zeiger auf Zeichen und somit die Anfangsadressen der Strings. Ein Beispiel:

```
void main()
{ char s1[10] = "Test",
  s2[10] = "Test",
  *s3 = s1,
  *s4 = "Test"; // Es gilt: s1 == s3, aber s1 != s2 und s1 != s4
}
```

Hier wird die Zeichenkette "Test" in die Stringvariablen "s1" und "s2" kopiert, und "s4" zeigt auf eine weitere Kopie dieses Strings, während "s3" auf den String "s1" verweist. Obwohl alle drei Variablen bei der Ausgabe (z. B. "cout « s1";) "Test" liefern, sind nur "s1" und "s3" gleich (weil die Adresse übereinstimmt), während alle anderen Variablen voneinander verschieden sind.

Derartige Vergleiche sind manchmal wirklich sinnvoll, aber meist will man den tatsächlichen Inhalt von Strings vergleichen und nicht ihre Speicheradressen. Auch hier hilft uns eine Bibliotheksfunktion aus "<string.h>" aus der Klemme: Sie heißt "strcmp" und erhält als Parameter zwei Zeichenketten (das heißt in C immer: Zeiger darauf).

```
"strcmp(a,b)" ist: = 0, wenn "a" und "b" gleich sind
   < 0, wenn "a" im Alphabet vor "b" steht
   > 0, wenn "a" nach "b" kommt.
```

„Alphabetische Reihenfolge" bezieht sich hier auf den ASCII-Code. Es werden zunächst die jeweils ersten Zeichen der Strings verglichen. Sind diese gleich, werden die jeweils folgenden Zeichen verglichen und so weiter. Die Strings werden höchstens bis zum Nullbyte am Ende verglichen. Dieses Verfahren liefert im allgemeinen nicht die Reihenfolge, die man sich so landläufig unter „alphabetisch" vorstellt. Insbesondere kommen für den Computer alle Großbuchstaben vor sämtlichen Kleinbuchstaben.

Mit

```
if (strcmp(x,y) == 0)
```

kann man also feststellen, ob der Inhalt der Zeichenketten "x" und "y" gleich ist. Natürlich kann man das auch verkürzen zu

```
if (!strcmp(x,y))
```

Um ein bißchen den Umgang mit Strings zu üben, wollen wir hier die Funktion "strcmp" einmal selbst schreiben. Ein erster, simpler Versuch wäre

```
int strcpy(unsigned char s1[ ], unsigned char s2[ ])
{ int i = 0;

   // Wir übergehen alle identischen Zeichen
   // am Anfang der Strings:
   while (s1[i] != '\0' && s2[i] != '\0' && s1[i] == s2[i])
      i++;
```

```
  // Ergebnis auswerten:
  if (s1[i] < s2[i])
    return -1;
  else
    if (s1[i] > s2[i])
      return +1;
    else
       return 0;
}
```

Bei `"strcpy("Test", "Text")"` wird hier `"i"` zweimal heraufgezählt, denn die beiden ersten Zeichen der beiden Zeichenketten sind ja identisch. Dann werden die Zeichen `'s'` und `'x'` verglichen, und als Ergebnis wird `"-1"` zurückgegeben, denn `'s'` ist kleiner als `'x'`. Hilfreich ist hier, daß das Nullzeichen, das ja das Stringende markiert, bei vorzeichenlosen `"char"`'s kleiner als alle anderen Zeichen ist. Deshalb kann man, wenn man mit `"unsigned char"`-Werten arbeitet, relativ problemlos den Fall, daß bei einem String das Stringende erreicht wird, abhandeln. Beim Vergleich von `"Test"` mit `"Teststring"` werden vier Zeichen übersprungen und dann das Nullzeichen am Ende von `"Test"` mit dem zweiten `'s'` aus `"Teststring"` verglichen. Das Nullbyte ist natürlich kleiner als das `'s'` und also `" Test"` kleiner als `"Teststring"`, wie man das auch nicht anders erwartet.

Optimal (im Sinne eines „harten" C-Programmierers) ist die Funktion aber noch lange nicht. Damit uns niemand „Lamer" nennt, ändern wir umgehend einige Details der Funktion:

1. Die Parametertypen ändern wir in `"unsigned char*"` um, denn der Compiler tut das ja sowieso. Außerdem lassen wir das `"unsigned"` wegfallen und sehen später, wie wir damit zurecht kommen.
2. Wenn wir schon mit Zeigern arbeiten, dann bitte auch richtig. Also fällt auch das `"i"` flach, und wir setzen direkt die Zeiger weiter.
3. Niemand verlangt von uns, daß wir bei unterschiedlichen Strings gerade `"-1"` oder `"+1"` zurückgeben, es muß eben nur das Vorzeichen stimmen. Deshalb können wir die beiden Vergleichsoperationen durch eine simple Subtraktion ersetzen.

Mit diesen Änderungen sieht das Ganze so aus:

```
int strcpy(char *s1, char *s2) // Zweite Version
{  // Wir übergehen alle identischen Zeichen
   // am Anfang der Strings:
   while (*s1 != '\0' && *s2 != '\0' && *s1 == *s2)
   {  ++s1;
      ++s2;
   }

   // Ergebnis auswerten:
   return (unsigned char)*s1 - (unsigned char)*s2;
}
```

Wir suchen also wieder das erste Zeichen, in dem sich "s1" und "s2" unterscheiden. Diese Zeichen wandeln wir dann in "unsigned char" um und berechnen die Differenz. Das geschieht übrigens den Sprachregeln von ANSI C entsprechend im Typ "int", so daß wir uns keine Sorgen wegen Überläufen machen müssen.

Die Funktion ist jetzt schon viel kürzer geworden, aber zwei Details stören immer noch: Zum einen sind die Vergleiche "!= '\0'" redundant, da C ja nicht zwischen numerischen und logischen Datentypen unterscheidet, zum anderen kann man einen der beiden ersten Vergleiche weglassen, wie im folgenden geschehen:

```
int strcpy(char *s1, char *s2) // Dritte Version
{ while (*s1 && *s1 == *s2)
  { ++s1;
    ++s2;
  }

  return (unsigned char)*s1 - (unsigned char)*s2;
}
```

Für alle, die daran zweifeln, daß man das "*s2 != '\0'" wirklich weglassen kann, sei gesagt, daß es vier verschiedene Fälle gibt:

- Die Strings sind gleich. Dann erreichen wir mit beiden Zeigern gleichzeitig das Stringende und brechen die Schleife aufgrund der Klausel "*s1" ab.
- Die Strings unterscheiden sich schon vor beiden Stringenden. Dann stoßen wir irgendwann auf eine Stelle, wo "*s1 == *s2" nicht mehr erfüllt ist, und die Schleife endet wiederum wunschgemäß.
- Wir erreichen zuerst das Ende von "s1", da beide Strings bis hierhin identisch sind. Dann ist "*s1" falsch, und die Schleife bricht ab.
- Wir erreichen zuerst das Ende von "s2". Dann ist zwar "*s1" noch erfüllt, aber "*s1 == *s2" gilt natürlich nicht mehr, denn s2 zeigt auf ein Nullbyte und s1 nicht.

Die dritte Version von "strcmp" ist wieder einmal ein schönes Beispiel dafür, wie man in C äußerst kurze und schnelle Programme schreiben kann, die dann aber leider niemand mehr ohne weiteres versteht.

Am Ende dieses Abschnitts sei noch die Funktion "strlen" erwähnt, die ebenfalls in "<string.h>" deklariert wird. Sie liefert die Länge einer Zeichenkette, und zwar ausschließlich des Nullbytes am Ende. Spaßeshalber versuchen wir auch hier eine eigene Implementierung. Zuerst wieder eine einfache, verständliche Version:

```
int strlen(char *s)   // Erste Version
{ int i = 0;
  while (s[i] != '\0')
    ++i;
  return i;}
```

Das optimieren wir wieder, indem wir von Index- auf Zeigeroperationen umsteigen. Wir müssen uns dabei den Stringanfang merken und einen zweiten Zeiger bis zum Ende wandern lassen. Am Ende subtrahieren wir dann die beiden Pointer und erhalten so die Stringlänge (Sie erinnern sich: Die Differenz zweier Zeiger gleichen Typs ist die Anzahl der Vektorelemente, die dazwischen paßt):

```
int strlen(char *s)   // Zweite Version
{ char *t = s;
  while (*t)
    ++t;
  return t-s;
}
```

Das ist dann in der Tat eine Funktion, die sich wohl kaum weiter optimieren läßt - es sei denn, Sie verwenden die Bibliotheksfunktion `"strlen"` von MaxonC++, denn die ist in Assembler geschrieben und deshalb noch etwas kürzer und schneller.

Argumente aus der Kommandozeile

Weil Sie gerade Strings kennengelernt haben und es sonst nirgendwo sinnvoll in dieses Handbuch paßt, verrate ich Ihnen hier, was es mit `"argc"` und `"argv"` auf sich hat:

Wenn man auf dem Amiga ein Programm von CLI startet, kann man hinter dem Programmnamen bekanntlich noch Argumente angeben. Natürlich haben diese Argumente meist einen tieferen Sinn, und folglich muß das Programm, das z. B. in C++ geschrieben ist, diese auch auswerten.

Für diesen Zweck gibt es in C eine standardisierte Lösung, die Argumente werden als Parameter an das Hauptprogramm, also `"main"`, übergeben. Wenn man sie haben will, muß man folgende Parameter für `"main"` deklarieren:

```
void main(int argc, char *argv[ ]);
```

Der erste Parameter, der in der Regel `"argc"` genannt wird, enthält die Anzahl der Argumente, der zweite ist ein Vektor mit Zeigern auf eben diese, wobei der Programmname ebenfalls als Argument zählt. Vor dem Start des Programms wird nämlich die Argumentzeile in Worte zerlegt:

```
#include <stream.h>

 void main(int argc, char *argv[])
{ int i;
  for (i=0; i<argc; ++i)
    cout « "Parameter " « i « ": " « argv[i] « "\n";
}
```

Angenommen, Sie speichern das ausführbare Programm unter dem Namen `"test"` ab und geben im CLI

```
test Wer bin ich.
```

ein. Dann hat der Parameter `"argc"` den Wert 4, und die vier ersten Zeiger in `"argv"` zeigen auf die Strings `"test"`, `"Wer"`, `"bin"` und `"ich."`. Natürlich müssen Sie aus der integrierten Umge-

bung von MaxonC++ nicht extra ein Exe-File abspeichern, sondern können die Parameterübergabe mit dem Texteingabefeld ***„Parameter"*** aus dem Menü **„Optionen"** simulieren. Als Programmname wird dabei natürlich nichts allzu Sinnvolles übergeben, den das Programm existiert ja nicht als ausführbare Programmdatei.

2.1.2.6 Initialisierung von Vektoren

Vektoren sind die ersten Datentypen, bei denen es einen Unterschied zwischen Initialisierung und Wertzuweisung gibt. Eine wirkliche Wertzuweisung ist nur elementweise möglich, aber initialisieren darf man sie. Sie haben bereits gesehen, daß man Stringvariablen mit einer konstanten Zeichenkette oder einem anderen Stringausdruck initialisieren darf, während man für eine entsprechende Wertzuweisung auf die `"strcpy"`-Funktion zurückgreifen müßte. Ganz allgemein sind für Vektoren zwei verschiedene Initialisierungen erlaubt:

1. Ein Vektorausdruck desselben Elementtyps. Die Anzahl der Elemente muß dabei nicht übereinstimmen. Hat der Ausdruck mehr Elemente als die Variable, werden die überzähligen ignoriert, und wenn es zu wenige sind, bleiben entsprechend viele Vektorelemente undefiniert.

Beispiel:

```
void main()
{ int v1[10];
  for (int i=0; i<10; i++)      // v1 wird initialisiert
    v1[i] = i+42;

  int v2[15] = v1; // initialisiert v2 mit v1, wobei v2[10]
                   // bis v2[14] undefiniert bleiben.
}
```

2. Die Anfangswerte der einzelnen Vektorelemente können auch in einer Liste aufgezählt werden:

```
short svec[10] = { 0, 1, 17, 4, 21, 26, 7, 31, 42, 4711 };
```

Gibt man zu viele Werte an, meldet der Compiler hier einen Fehler, während er es akzeptiert, wenn man weniger Elemente angibt. Diese werden dann mit Null initialisiert.

Mehrdimensionale Vektoren werden mit entsprechend geschachtelten Elementlisten initialisiert:

```
int vvi[4][2] = { {1, 2}, {2, 3}, {3, 4}, {4, 5} };
```

Hier ist `"vvi"` (Sie erinnern sich: Deklarationen immer von innen nach außen lesen!) ein vierelementiger Vektor von Paaren von int's, also muß er auch mit vier Zahlenpaaren und nicht etwa zwei Viertupeln initialisiert werden.

Alternativ kann man solche Schachtelungen auch „plattklopfen":

```
int vvi[4][2] = { 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5 };
```

Der Effekt ist derselbe, aber natürlich ist das weniger schön.

Auch Zeichenketten kann man mit Elementlisten initialiseren, wenn man das unbedingt will:

```
char string[5] = { 'H', 'a', 'l', 'l', 'o' };
```

Bei so einer Initialisierung können Sie dann auch, wie hier geschehen, das sonst obligatorische Nulbyte am Stringende weglassen.

Ein recht angenehmes Feature von C ist (man beachte: Ich habe soeben erstmals ANSI-C gelobt!), daß man Vektorgrenzen durch die Initialisierung festlegen lassen kann. Bei der Deklaration

```
char wasndas[ ] = "Watt is'n das?";
```

wird die Stringvariable `"wasndas"` gerade so groß gewählt, daß der String einschließlich Nullbyte am Ende hineinpaßt. Analog geht das auch mit Elementlisten:

```
int Daten[ ] = { 4, 2, 42 };
```

deklariert und initialisiert einen Vektor mit drei Elementen. Sogar mehrdimensional ist das möglich:

```
int irgendwas[ ][ ][ ] = {{{1,2},{3}},{{17,4,66}},{{1,2,4}},{{99}}};
```

In der innersten Klammerebene, also auf dem dritten Indexlevel, werden hier jeweils ein, zwei oder drei Zahlen angegeben. Der Compiler nimmt dann das Maximum, also geht der dritte Indexbereich von `0` bis `2`. Auf der mittleren Ebene werden, wie Sie durch genaues Hinsehen vielleicht erkennen können, ein bis zwei Elemente initialisiert, und auf der obersten Klammerebene werden vier Initialisierungsvektoren angegeben. Nicht initialisierte Daten werden wieder mit 0 beschrieben, also kommt effektiv

```
int irgendwas[4][2][3] =  { { { {  1,  2, 0},  { 3, 0, 0} },
                              { { 17,  4, 66},  { 0, 0, 0} },
                              { { 1,   2, 4},   { 0, 0, 0} },
                              { { 99,  0, 0},   { 0, 0, 0} }
                            };
```

dabei heraus.

Wenn man bei mehrdimensionalen Vektoren die Indexbereiche wegläßt, darf man die Initialisierungen natürlich nicht wieder „plattkloppen": Bei

```
short falsch[ ][ ] = {17, 4, 21, 26, 7, 31, 42};
```

kann der Compiler ja nicht mehr herausfinden, wie groß die beiden Indexbereiche jeweils zu wählen sind. Eindeutig und deshalb erlaubt ist

```
short richtig[ ][2] = {17, 4, 21, 26, 7, 31, 42};
```

Im umgekehrten Fall,

```
short nichtrichtig[4][ ] = {17, 4, 21, 26, 7, 31, 42};
```

ist der Compiler aber nicht clever genug, die Elementanzahl durch 4 zu teilen und aufzurunden, und so ist auch hier das Ergebnis undefiniert.

Bei der hier mehrfach verwendeten Zahlenfolge handelt es sich übrigens um die Lottozahlen der nächsten Woche. Von etwaigen Gewinnen mit diesen Zahlen gehen 50 Prozent an mich.

Natürlich darf man auch Elementlisten- und Stringinitialisierung mischen:

```
char Namen[ ][ ] = { "DeGarmo", "Jackson", "Rockenfield", "Tate",
"Wilton" };
```

legt ein Feld von 5 Strings mit jeweils 12 Zeichen an, also gerade genug für unsere Daten. Das ist in der Tat ausgesprochen angenehm. Weniger angenehm ist, daß alles, was in diesem Kapitel beschrieben wurde, wirklich ausschließlich für Initialisierungen gilt und für normale Wertzuweisungen an Vektoren in C nicht erlaubt ist:

```
void main()
{
   int valsch[4];
   valsch = {0, 8, 15, 4711};      // SYNTAX ERROR
}
```

Na ja, man kann eben nicht alles haben.

2.1.3 Referenzen

2.1.3.1 Einführung

Schlafen Sie in letzter Zeit schlecht? Tauchen in Ihren Träumen ständig wüste Diagramme mit seltsamen Objekten und Zeigern darauf auf? Dann ist die Diagnose eindeutig: Sie haben die Sache mit den Pointern noch nicht so ganz verdaut. Aber Ihnen kann geholfen werden: C++ bietet Ihnen, im Gegensatz zu C, ein alternatives Datentypkonzept an, mit dem man oft Zeiger vermeiden kann - die Rede ist von Referenzen.

Intern ist ein Referenztyp nichts anderes als ein Zeigertyp, aber mit dem Unterschied, daß eine Referenz nicht wie ein Zeiger aussieht. Man deklariert Referenzen auch genau wie Zeiger, nur mit einem `"&"` statt `"*"`:

```
int &ir;
```

Damit haben wir aber auch schon den ersten Fehler gemacht: Eine Referenz muß immer initialisiert werden. Der Compiler achtet also lobenswerterweise darauf, daß eine Referenz nicht ins Irgendwo, sondern auf ein real existierendes Datenobjekt verweist. Als Initialisierung wird normalerweise ein L-Wert des referierten Typs erwartet:

```
int i = 26731, j = 3718847;
int &ir = i;
```

Im weiteren Programmverlauf zeigt `"ir"` dann unveränderbar auf die Variable `"i"` und kann deshalb synonym zu `"i"` benutzt werden:

```
ir = 42;
```

ändert über `"ir"` den Wert von `"i"`, und auch

```
ir = j;
```

setzt nicht etwa die Referenz `"ir"` auf `"j"` um, sondern ändert ebenfalls den Wert von `"i"`, so daß es bei Referenzen einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Initialisierung und Wertzuweisung gibt. Nach der Initialisierung verweist eine Referenz also immer auf dasselbe Datenobjekt, und es gibt keine Möglichkeit, das zu ändern. Sogar wenn man die Adresse einer Referenz nimmt, etwa `"&ir"`, erhält man wieder nur die Adresse des Objekts, auf das `"ir"` zeigt, und nicht etwa die Speicherstelle, an der intern dieser Zeiger abgespeichert wird.

2.1.3.2 „VAR-Parameter" und temporäre Objekte

An dieser Stelle werden Sie natürlich fragen, was Sie denn davon haben, wenn Sie in einem Programm eine Variable über einen solchen Verweis ansprechen können. In der Form, in der Referenzen oben benutzt wurden, noch gar nichts.

Eine der nützlichsten Anwendungen für Referenztypen sind Funktionsparameter. Vielleicht erinnern Sie sich noch, daß bei der Argumentauswertung dieselben Regeln wie bei einer Initialisierung gelten. Wenn Sie also einen Parameter als Referenz auf einen Typen T deklarieren, wird beim Funktionsaufruf als Argument ein L-Wert des Typs T erwartet und die Referenz automatisch mit einem Verweis auf diese Variable initialisiert:

```
void halbiere (int &para)
{ para /= 2;
}

void main()
{ int i = 84;
  halbiere (i);
}
```

Die Funktion `"halbiere"` hat also einen Seiteneffekt auf die als Argument übergebene Variable. Pascal-Programmierer kennen dieses Feature als „VAR-Parameter", nur daß man in C++ Referenzen eben universell benutzen kann und nicht nur in Parameterlisten.

In diesem Zusammenhang gibt es ein ziemlich eigentümliches Feature, das im 1.0-Standard eher versehentlich enthalten war und vom 2.0-Standard nur noch „inoffiziell" unterstützt wird (d. h. es gehört offiziell nicht mehr dazu, aber es wird empfohlen, es trotzdem noch zu unterstützen, um die Kompatibilität der Programme zu erhalten): Der Ausdruck, mit dem eine Referenz initialisiert wird, muß weder ein L-Wert sein noch genau den richtigen Typ haben.

Beispielsweise könnte man die Funktion `"halbiere"` auch folgendermaßen aufrufen:

```
halbiere(42);
```

Was soll der Quatsch? Wird jetzt die Konstante `"42"` halbiert (was bekanntlich alle Probleme des Universums halbieren würde)? Nein, wir schließen hier Bekanntschaft mit einem Feature namens „temporäres Objekt". Der Compiler richtet hier ganz ohne Zutun des Programmierers eine namen-

lose "int"-Variable ein, initialisiert diese mit 42 und ruft "halbiere" dann auf dieser Phantom-Variablen auf. Das ist zwar noch ein recht nettes Feature, aber es wird ziemlich eklig, wenn beim Aufruf eine Typkonvertierung nötig wird:

```
long x = 12;
halbiere(x);
```

"x" ist zwar ein L-Wert, aber eben nicht vom Typ "int", und deshalb ist hier eine Typkonvertierung nötig, und das Ergebnis einer solchen Operation ist generell kein L-Wert, und zwar nicht einmal unter MaxonC++, wo die interne Darstellungen von "int" und "long" identisch sind (jeweils 32 Bit) und deshalb eigentlich keine wirkliche Operation ausgeführt werden muß. Jedenfalls generiert MaxonC++ auch hier ein temporäres Objekt, initialisiert es mit "x" und ruft die Funktion "halbiere" auf, die das temporäre Objekt halbiert - und der Programmierer wundert sich höchstwahrscheinlich, daß der Wert von "x" nicht halbiert wird (was im obigen Beispiel totsicher gemeint war).

Zu allem Überfluß funktioniert dieses Feature nicht nur bei Funktionsparametern, sondern bei sämtlichen Referenzen, z. B.

```
int &ir = 3.14159;       // Etwas komisch, aber erlaubt
char c;
signed char &cr = c;     // Überraschung!!!
```

Das Beispiel mit dem "ir" ist zwar ziemlich obskur. Hier wandelt der Compiler 3.14159 nach "int" um, initialisiert ein temporäres Objekt damit und läßt "ir" darauf verweisen, was natürlich ausgesprochen unnütz ist. Die Initialisierung von "cr" hingegen steckt voller Heimtücke. Da "char" und "signed char" in C++ zwei unterschiedliche Typen sind (obwohl auch sie in MaxonC++ praktisch identisch sind), verweist "cr" hier nicht etwa auf "c", sondern auf ein temporäres Objekt.

Im 2.0-Standard ist die Angelegenheit wesentlich eleganter gelöst. Ich muß an dieser Stelle etwas vorgreifen (nämlich auf Abschnitt 2.2.3) und schon jetzt verraten, daß man Typen aller Art mit "const" qualifizieren kann, etwa so:

```
void machwas(const double &D);
```

Die Referenz verweist hier auf ein "const double", was nichts anderes bedeutet, als daß man nicht beabsichtigt, den Wert jenes Datenobjekts zu verändern, wobei der Compiler das auch überwacht und jegliche Veränderung des referierten Objekts als Fehler meldet. Nun ist es ziemlich unerheblich, ob die Referenz ein direkter Zeiger auf das Funktionsargument oder nur ein Verweis auf ein temporäres Objekt ist, denn hier sind Überraschungen weitgehend ausgeschlossen: Da die Funktion das referierte Objekt nicht verändern kann, hat sie auch keine Seiteneffekte darauf, und der Programmierer wird nicht mehr mit der Tatsache konfrontiert, daß anstelle des Arguments unter Umständen bloß ein temporäres Objekt verändert wird.

Jedenfalls lautet die neue, korrekte Sprachregel so, daß eine Referenz auf ein nicht-konstantes Objekt mit einem L-Wert des richtigen Typs initialisiert werden muß, während bei Referenzen auf mit „const" qualifizierte Typen (und nur hier!) bei Bedarf temporäre Objekte eingerichtet werden.

2.1.3.3 Weitere Möglichkeiten und Einschränkungen

Zeiger auf Referenzen sind ebenso wenig erlaubt wie Vektoren von Referenzen:

```
int &*p1;        // ERROR, Zeiger auf Referenz
int &v1[10];     // ERROR, Vektor von Referenzen
```

Umgekehrt geht das natürlich:

```
int *&p2;        // Referenz auf Zeiger
int (&v2)[10];// Referenz auf Vektor
```

Eine Funktion darf auch eine Referenz zurückgeben:

```
int &f(int i)
{ int j = 2*i;
  return j;
}
```

Diese Funktion ist zwar formal richtig, aber trotzdem falsch: Hier wird ein Verweis auf die lokale Variable `"j"` zurückgegeben, die nach Ausführung der Funktion nicht mehr existiert. Also zeigt die Referenz irgendwo in die Pampa, und eine Zuweisung an das Ergebnis der Funktion, etwa

```
int &f(int i);// Liefert wie oben Referenz auf ein "int"

void main()
{ f(1) = 42;  // Ändert Wert des Objekts, auf das "f(1)" verweist
}
```

hätte unter Umständen fatale Folgen. So ganz sind Sie also auch bei Referenzen nicht gegen Pointer-Chaos gefeit.

Eine etwas sinnvollere Anwendung für Funktionen mit Referenz-Ergebnis wäre z. B. ein simulierter Vektor. Manchmal hat man eine Liste von Daten nicht als richtigen Vektor vorliegen, möchte sie aber trotzdem wie Vektorelemente benutzen. Das könnte so aussehen:

```
int i0, i1, i2, i3;   // Unsere vier Daten

int &Liste (int Index)
{ switch (Index)
  { case 0:
      return i0;
    case 1:
      return i1;
    case 2:
      return i2;
    case 3:
      return i3;
```

```
    default:    // ... Fehlermeldung ausgeben, Programm abbrechen ...
  }
}

void main()
{ int i;
  for (i=0; i<4; i++)
    Liste(i) = 42+i;

  Liste(0) = 2*Liste(1)+Liste(3);
}
```

Wie Sie sehen, können wir auf diese Weise unsere ganz normalen Variablen `"i0"` bis `"i3"` wie einen Vektor benutzen. Sinnvoll ist eine solche Konstruktion aber vor allem dann, wenn die fraglichen Daten nicht in Form von gewöhnlichen Variablen, sondern z. B. als dynamisch erzeugte verkettete Liste vorliegen - aber das gehört in ein anderes Kapitel. Vorher müssen wir noch unsere Hausaufgaben machen und uns durch diverse Features kämpfen, die uns C++ sonst noch so bietet.

2.2 Qualifizierungen, Deklarationen und Spezifikationen

2.2.1 Speicherklassen

2.2.1.1 Automatische und statische Daten

Ein C-Programm hat verschiedene Möglichkeiten, Daten abzuspreichern. Da wäre beispielsweise der Stack, ein RAM-Bereich, der für jeden Prozess eingerichtet wird und dann, wie der Name schon sagt, wie ein Stapel funktioniert: Man kann Daten drauflegen und sie später wieder herunternehmen.

In C-Programmen wird der Stack vor allem für lokale Daten von Funktionen und für ihre Argumente benutzt. Wenn eine Funktion benutzt wird, legt der aufrufende Programmteil die Argumente auf den Stack und ruft die Funktion als Unterprogramm auf, wobei der Prozessor dann übrigens auch noch die Rückkehradresse, an der er nach Beendigung der Funktion weitermachen soll, ebenfalls auf dem Stack vermerkt. Die Funktion richtet sich dann selbst genug Stackplatz für ihre lokalen Daten ein. Am Ende der Funktion, etwa bei einem `"return"`-Statement, werden die lokalen Daten wieder vom Stack entfernt und dann die Rückkehradresse heruntergenommen und angesprungen, so daß der Prozessor wieder im aufrufenden Programm landet. Diesem obliegt es dann, die Argumente wieder vom Stack zu entfernen.

Da C eine Hochsprache (oder zumindest als solche gedacht) ist, müssen Sie sich um solche Mechanismen natürlich nicht selbst kümmern. Wichtig ist nur, daß Ihnen die prinzipiellen Mechanismen, mit denen solche Variablen erzeugt und wieder zerstört werden, klar sind. In den Abschnitten 2.1.1.3 und 2.1.3 wurde ja bereits gesagt, was passieren kann, wenn man diese Interna mißachtet und Zeiger bzw. Referenzen auf lokale Daten aus einer Funktion exportiert.

Weil die Variablen auf dem Stack aus Sicht des C-Programmierers automatisch erzeugt und gelöscht werden, spricht man in diesem Zusammenhang auch von „automatischen" Variablen. Das Gegenteil davon sind „statische" Datenobjekte.

Statische Daten werden natürlich auch vollautomatisch eingerichtet, aber das nur einmal, nämlich am Programmanfang. Sie existieren dann bis zum Programmende. Globale Variablen, also solche, die außerhalb von Funktionen deklariert werden, sind grundsätzlich statisch.

Bei jeder Variablendeklaration (und bei einigen anderen Deklarationen auch) ist es möglich, die Speicherklasse explizit anzugeben. Dazu dienen hauptsächlich die Schlüsselwörter `"auto"` und `"static"`:

```
int f()
{ auto int i, j;
  static int k;
}
```

Die beiden Variablen `"i"` und `"j"` werden jedesmal, wenn die Funktion `"f"` ausgeführt wird, neu eingerichtet und bei Beendigung der Funktion wieder vernichtet. Das Wortsymbol `"auto"` ist übrigens generell nutzlos und könnte ebenso gut ersatzlos gestrichen werden, und das macht man in der Praxis dann auch. Da keine Initialisierung angegeben ist, haben `"i"` und `"j"` zunächst undefinierte Werte.

Dadurch, daß der Deklaration von `"k"` das Schlüsselwort `"static"` vorangestellt wird, verhält diese Variable sich genau so, als wäre sie global, also auf Dateiebene, deklariert worden, mit einem wichtigen Unterschied: Sie ist auf diese Art und Weise ausschließlich innerhalb der Funktion `"f"` bekannt und benutzbar.

Alle statischen Daten werden beim Programmstart initialisiert, und zwar mit Null, sofern der Programmierer keine andere Initialisierung angibt. Wenn Sie beispielsweise am Anfang einer Funktion

```
static int count;
++count;
```

deklarieren, kann sie immer anhand von `"count"` feststellen, zum wievielten Mal sie aufgerufen wurde.

Das Symbol `"auto"` darf ausschließlich innerhalb von Funktionen verwendet werden, wo es bekanntlich überflüssig ist, da lokale Variablen ja sowieso schon „automatisch" sind, sofern nicht eine andere Speicherklasse spezifiziert wird. `"static"` kann im hier beschriebenen Sinne ebenfalls nur innerhalb von Funktionen benutzt werden. Auf Dateiebene, wo Variablen ja defaultmäßig statisch sind, hat es verwirrenderweise eine etwas andere Bedeutung, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

ANSI C verlangt, daß statische Daten ausschließlich mit konstanten Werten initialisiert werden. C++ ist da weniger pingelig und läßt auch beliebige nicht-konstante Ausdrücke zu, die auch andere statische Variablen und sogar Funktionsaufrufen enthalten dürfen, beispielsweise

```
double f(int n);

int i = 0;
double d = f(i);      // C++, aber nicht C
long l = (long) d;    // Ebenfalls nur in C++
```

Undefinierte Ergebnisse erhält man dagegen, wenn man statische Variablen mit nicht-statischen Werten initialisiert, etwa

```
void f(int i)
{ static int j = i;  // Falsch!
}
```

Wie bereits gesagt, geschieht die Initialisierung statischer Daten am Programmbeginn, also zu einem Zeitpunkt, an der hier die Variable `"i"` noch nicht initialisiert ist, so daß `"j"` hier mit einem undefinierten Wert initialisiert wird.

2.2.1.2 Module und ihre Gültigkeitsbereiche

Gemeinsame Daten und Funktionen

Bisher habe ich Ihnen diskret verschwiegen, daß ein C-Programm ohne weiteres aus mehreren Modulen bestehen kann. Jedes Modul entsteht aus einem Quelltext (eventuell einschließlich Includedateien) und kann unabhängig von den anderen Modulen compiliert werden, weshalb man ein Modul in C etwas verschämt auch „Übersetzungseinheit" („translation unit") nennt. „Verschämt" deshalb, weil das Modulkonzept nicht besonders schön in die Programmiersprache C integriert wurde. Andere Hochsprachen, etwa Modula oder die allseits bekannten modernen Pascal-Dialekte, ermöglichen nämlich durch geeignete Sprachkonstrukte eine klare Trennung zwischen dem „Interface" eines Moduls, also dem Teil, der für andere Module sichtbar sein soll, und der „Implementierung", also den Programmteilen, die Privatsache des Moduls sein sollen. In C hat man ganz einfach festgelegt, daß jede Funktion und jedes auf Dateiebene deklarierte Datenobjekt öffentlich sind und von anderen Modulen benutzt werden können.

Besonders einfach ist das bei Funktionen: Wird eine Funktion deklariert, aber nicht definiert, weiß der Compiler, daß er sie vor irgendwo importieren muß. Beispielsweise könnte ein Modul folgendes enthalten:

```
// Datei "hello.c"

#include <stream.h>

void hello()
{ cout « "Hello, World!\n";
}
```

Dann braucht ein anderes Modul die Funktion nur noch zu deklarieren und kann sie dann benutzen:

```
// Modul "haupt"

void hello();

void main()
{ hello();
}
```

Natürlich muß man dem Linker irgendwie klarmachen, daß er das Programm aus den beiden Modulen `"hello"` und `"haupt"` zusammensetzen soll. In der Entwicklungsumgebung von MaxonC++ muß man dazu ein „*Makefile*" erzeugen, bei der Kommandozeilenversion reicht es, wenn man beide Quelldateinamen gleichzeitig als Parameter angibt. Näheres dazu steht im ersten Teil dieses Handbuchs.

Der Linker verlangt dann jedenfalls, daß irgend ein Modul eine Funktion `"hello"` exportiert. Es ist natürlich möglich, daß sie in mehreren Übersetzungseinheiten zugleich definiert wird. Dann meldet der Linker einen entsprechenden Fehler, weil er dann ja nicht weiß, welches `"hello"` er nun nehmen soll.

Bei gemeinsam benutzten Daten ist das Ganze etwas komplizierter, denn eine Deklaration wie `"int i;"` teilt dem Compiler bekanntlich nicht bloß mit, daß es eine Variable `"i"` gibt, sondern weist ihn auch an, eine solche zu erzeugen. Strenggenommen handelt es sich dabei also nicht um eine Deklaration, sondern eine Definition, aber der Begriff „Variablendeklaration" wird nun einmal traditionell benutzt. Jedenfalls hat jedes Modul, in dem `"int i;"` deklariert wird, sein eigenes `"i"`, daß es zu allem Überfluß auch noch exportiert, so daß der Linker sich beklagen wird, daß dieses Symbol mehrfach definiert wird. So geht es also nicht.

Die Lösung dieses Problems ist die Speicherklasse `"extern"`. Dadurch wird der Compiler angewiesen, ein Datenobjekt nicht zu erzeugen, sondern es zu importieren. `"extern"` wird syntaktisch genau wie `"static"` oder `"auto"` benutzt:

```
extern int i;
```

Man darf innerhalb einer Übersetzungseinheit jede Variable beliebig oft extern und zusätzlich höchstens einmal „normal" deklarieren, z. B.

```
extern int i;
int j;
extern int i, j;
int i;
```

Das erleichtert es enorm, die Schnittstelle zwischen Modulen in einem „Header-File" zu deklarieren. Normalerweise legt man zu jeder Übersetzungseinheit eine Includedatei an, in der alles deklariert wird, was vom jeweiligen Modul der „Allgemeinheit" zur Verfügung gestellt wird. Nehmen wir an, das Modul „*hello.c*" exportiere die Funktion `"hello"` und die Strungvariable `"text"`. Das „Headerfile" dazu, das gewöhnlich „*hello.h*" oder „*hello.i*" genannt wird, enthält dann die Prototypen der exportierten Funktionen und `"extern"`-Deklarationen für die Variablen:

```
// * Header"hello.h" *
extern char text[];
void hello();
```

Das Modul `"hello"` definiert dann diese Namen. In die Schnittstellendeklaration gehören normalerweise nicht nur Variablen- und Funktionsdeklarationen, sondern auch Typdefintionen, die Gegenstand einiger folgender Kapitel sind. Deshalb muß im allgemeinen das Modul sein eigenes

„Headerfile" einschließen, wobei der Dateiname allerdings in doppelten Hochkomma `"..."` und nicht wie bisher in spitzen Klammern `<...>` zu setzen ist, denn es handelt sich diesmal ja nicht um eine Standarddatei:

```
// * Modul "hello.c" *

#include "hello.h"    // Eigenes Headerfile
#include <stream.h>   // Wie gewohnt

char text[] = "Hello, World!";

void hello()
{ cout « text;
}
```

Das Hauptprogramm, nennen wir es *„main.c"*, wird in der Regel nichts exportieren und braucht deshalb kein eigenes „Headerfile". Es benutzt lediglich das von `"hello"` und hat dann alle Deklarationen, die es braucht, um die Funktionen von `"hello"` zu benutzen:

```
// * Hauptmodul *

#include "hello.h"

void main()
{ char *txtptr = text;
  hello();
}
```

Übrigens darf man das Schlüsselwort `"extern"` auch vor Funktionsdeklarationen setzen, z. B.

```
extern void hello();
```

Das ist aber überflüssig, denn Funktionen, die nicht definiert werden, gelten ja automatisch als `"extern"`.

Modulinterne „static"-Namen

Objekte und Funktionen, die auf Dateiebene deklariert werden, exportieren in der Regel ein Namenssymbol an den Linker, so daß alle anderen Module darauf zugreifen können. Manchmal führt das zu unerwarteten Effekten, wenn zwei Übersetzungseinheiten denselben Bezeichner für unterschiedliche modulinterne Zwecke definieren. Der Compiler stört sich daran nicht (denn er betrachtet ja immer nur eine Übersetzungseinheit, also ein Modul), aber der Linker mäkelt, weil ein Name mehrfach definiert wurde. Um derartige Kollisionen von vornherein zu verhindern, sieht C die Möglichkeit vor, Variablen und Funktionen als „nicht-exportiert" zu deklarieren. Aus nicht mehr nachvollziehbaren Gründen hat man sich entschieden, dafür das Schlüsselwort `"static"` zu überladen: Eine Deklaration wie

```
static char c;
```

hat schon in ANSI-C zwei Bedeutungen (und in C++ noch eine dritte, dazu an anderer Stelle mehr), je nach dem, wo sie steht:

- In einer Funktion deklariert sie eine Variable, die nicht auf dem Stack (im „automatischen" Speicher), sondern statisch im Datenbereich des Programms angelegt wird und dort die ganze Programmlaufzeit über existiert.
- Auf Dateiebene, also außerhalb aller Funktionsdefinitionen, deklariert sie ebenfalls eine Variable im statischen Speicher (denn alle Variablen auf Dateiebene sind statisch), deklariert aber zusätzlich, daß dieses Datenobjekt nicht anderen Modulen zugänglich sein soll. Es wird dafür insbesondere kein Symbol an den Linker weitergereicht, so daß es auch nicht zu versehentlichen Kollisionen kommen kann.

Bitte fragen Sie mich nicht, wieso man `"static"` für zwei ganz unterschiedliche Zwecke benutzt - ich weiß es nicht, und wenn ich etwas zu sagen hätte, würde man für letztere Funktion ein neues Schlüsselwort wie `"intern"`, analog zu `"extern"`, einführen, aber mich fragt ja keiner.

Jedenfalls ist man insofern konsistent, als daß man auch Funktionen als `"static"` deklarieren kann, etwa so:

```
static void hello();
```

Als kleine Erleichterung muß man das `"static"` nur bei der ersten Deklaration der Funktion hinschreiben, bei allen folgenden darf man es auch weglassen:

```
static void hello();

void hello()      // OK
{ // usw..
}
```

Umgekehrt ist es allerdings verboten:

```
void hello();

// ... irgendwas ...

static void hello(); // Error: "Inconsistent linkage"
```

Das liegt daran, daß der Compiler sich bei der ersten Deklaration schon psychisch und moralisch darauf eingestellt hat, die Funktion notfalls einlinken zu dürfen, und erst später mitgeteilt bekommt, daß er eben das doch nicht darf. Immerhin könnte ja da, wo jetzt `"irgendwas"` steht, bereits ein Funktionsaufruf einschließlich Symbolimport stattgefunden haben, und C und C++ sind so konzipiert, daß der Compiler das Programm in einem Pass übersetzen kann, ohne noch einmal zurückzugehen.

Typsicheres Linken und Link-Spezifikationen

Es war bereits mehrfach davon die Rede, daß „Symbole" an den Linker übergeben werden. Das sieht dann so aus, daß der Name des Objekts bzw. der Funktion dem Linker bekannt gemacht wird, ver-

sehen mit einem Vermerk, ob die Objekt-Datei das Symbol definiert (zusammen mit dem Symbolwert, also der Speicheradresse) oder benutzt (und einer Tabelle mit den Stellen, an denen dieses Symbol referiert wird). Allerdings wird der Name nicht ganz so exportiert, wie er definiert wird. Bei Variablen wird dem Bezeichner lediglich ein Unterstrich `"_"` vorangestellt, d. h. eine Variable `"Daten"` heißt für den Linker `"_Daten"`. Dies ist eine allgemeine Konvention bei C-Compilern.

Es gibt übrigens im ANSI C-Standard eine mittlerweile ziemlich antiquierte Definition, nach der ein Linker nur die ersten sechs Zeichen eines Namens beachten und dabei auch nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterscheiden muß. Demnach kann es theoretisch Systeme geben, auf denen die Variablen `"String"` und `"stringlaenge"` für den Linker identisch sind. Mir ist aber kein solches System bekannt, und MaxonC++ beachtet wie jedes heute gebräuchliche C-System den ganzen Namen unter Unterscheidung von Groß- und Kleinbuchstaben.

In C++ ist es bekanntlich möglich, Funktionen zu überladen. Deshalb reicht es nicht, wenn man dem Linker lediglich den Namen einer Funktion übergibt, denn er muß ja in der Lage sein, die beiden Funktionen

```
void fun(int);
```

und

```
char *fun(char*);
```

zu unterscheiden. Dieses Problem wird gelöst, indem die Parameterliste in das Linkersymbol hineinkodiert wird:

Auf den Funktionsbezeichner (diesmal ohne vorangestellten `"_"`) folgen ein Unterstrich und eine Kodierung der Parametertypen. Dabei sind jedem Grundtyp ein oder zwei Buchstaben zugeordnet:

```
Typ  Code


char c
signed char Sc
unsigned char Uc
short int s
unsigned shortUs
int  i
unsigned int  Ui
long int  j
unsigned long Uj
long long l
unsigned long long Ul
float  f
double d
long double D
void v
```

Der Ergebnistyp der Funktion wird nicht kodiert, denn C++ erlaubt es nicht, zwei Funktionen mit identischen Parameterlisten, aber unterschiedlichem Rückgabetyp zu deklarieren. Ein Zeigertyp

wird kodiert, indem dem Code des referierten Typs ein `"P"` vorangestellt wird. Aus `"char*"` wird also `"Pc"` und `"PPv"` ist ein Zeiger auf einen Zeiger auf `"void"`, also `"void**"`. Entsprechend stehen `"R"` für Referenzen und `"a"` (mit zusätzlich kodierter Elementanzahl) für Vektoren. Die folgende Übersicht enthält auch schon einmal Codes für Datentypen, die in diesem Handbuch erst später eingeführt werden:

`Pointer`	**P**
`Referenz`	**R**
`Vektor`	**A + Elementanzahl**
`const`	**C**
`volatile`	**V**
`Funktion`	**F + Parameterliste + f**

Einige Datentypen können nur über ihren Namen kodiert werden:

`Class, Struct, Union`	Namenslänge (2 Ziffern) + Name
`Enumeration`	E + Namenslänge (2 Ziffern) + Name

Die Funktion `"strcmp(char*, char*)"` heißt dann z. B. für den Linker `"strcmp_PcPc"`. Enthält der Funktionsname selbst einen Unterstrich, etwa `"Input_data"`, wird dieser im Linkersymbol verdoppelt: `"Input__data"`. Dadurch kann es nicht zu Kollisionen zwischen Unterstrichen im Funktionsnamen und dem Unterstrich zwischen Namen und Parameterliste kommen. Eine Ellipse `"..."` am Ende der Parameterliste wird durch ein angehängtes `"e"` dargestellt.

Das Kodieren der Parameterliste ist aber nicht nur eine Notlösung, um überladene Funktionen mit dem Linker behandeln zu können, sondern hat auch den angenehmen Effekt, daß auch über Modulgrenzen hinweg sichergestellt ist, daß Funktionsargumente den richtigen Typ haben. Deshalb nennt man diesen Mechanismus auch „typsicheres Linken".

ANSI C kennt kein Überladen, deshalb werden hier Funktionsnamen in der Regel genau wie Variablennamen kodiert. Auch MaxonC++ hält sich im C-Modus an diese Konvention. Dadurch wird es natürlich schwierig, C- und C++-Module zu verbinden, weshalb in C++ das Konzept der Link-Spezifikationen eingeführt wurde.

Bei einer Linkspezifikation folgt dem Schlüsselwort `"extern"` die gewünschte Programmiersprache als String, z. B.

```
extern "C" void test(int);
```

Diese Deklaration weist den Linker an, die Funktion `"test"` beim Linken nach C-Regeln zu behandeln, also `"_test"` statt `"test_i"`. Jeder C++-Compiler kennt die Linkmodi „C" und „C++", in MaxonC++ gibt es auch noch „Asm" und „Pascal", wo dann das Symbol mit dem Bezeichner identisch ist und weder ein `"_"` am Anfang noch eine kodierte Parameterliste bekommt. Da es aber langweilig ist, vor zehntausend Deklarationen jedesmal diese Spezifikation zu schreiben, kann man Deklarationen auch klammern:

```
extern "Asm"
{ void test(int);          // Externes Symbol: "test",
  int Anzahl, Maximum;  // "Anzahl" und "Maximum",
  char* input();           // "input"
}
```

Wem es Spaß macht, der darf Linkspezifikationen auch ineinander verschachteln. Die Linkspezifikation müssen jeweils die erste Deklaration einer Funktion sein, sonst weiß der Compiler wieder nicht, was er soll. Bei weiteren Deklarationen bzw. Definitionen der Funktion muß man dann den Linkmodus nicht noch einmal angeben.

Die Schnittstelle zum Amiga-Betriebssystem

MaxonC++ kennt außer „C", „C++", „Asm" und „Pascal" noch den Linkmodus „Amiga", der eigentlich keiner ist. Dazu muß man erst einmal wissen, wie das Amiga-Betriebssystem aufgebaut ist.

Das Amiga OS besteht aus einer Sammlung von Libraries, also Bibliotheken oder Funktionssammlungen. Dabei vollzieht sich der Einsprung in eine solche Funktion etwas eigenartig. Zunächst einmal hat jede Library eine Basis-Struktur, die gewisse globale Daten der Bibliothek enthält. Wenn man eine Bibliotheksfunktion aufruft, wird verlangt, daß im Prozessorregister `"a6"` ein Zeiger auf eben diese Struktur steht. Vor der Basis-Struktur steht im Speicher eine Sprungtabelle, in der Sprunganweisungen zu den jeweiligen Bibliotheksfunktionen stehen.

Um eine Systemfunktion aufzurufen, lädt man einen Zeiger auf die Basis-Struktur nach `"a6"` und springt dann an einen gewissen (negativen) Offset unterhalb der Struktur. Die Argumente sind dabei in der Regel nicht auf dem Stack, sondern in Prozessorregistern zu übergeben, aber dazu mehr im folgenden Abschnitt. Jedenfalls werden Betriebssystemfunktionen in MaxonC++ nicht vom Linker eingebunden, sondern direkt angesprungen. Dazu benötigt der Compiler allerdings zwei Angaben: Die Basisadresse und den Offset der Funktion. MaxonC++ bietet dazu (auch im C-Modus) eine besondere Deklarationsweise, die an die Link-Spezifikationen angelehnt ist. Hinter dem Wortsymbol `"extern"` und dem Linkmodus „Amiga" folgt dabei zunächst der Name einer Variablen, die die Basisadresse der Library enthalten soll. Hinter der eigentlichen Funktionsdeklaration ist dann der jeweilige Offset mit einem `"="` anzugeben.

Bei der „Exec"-Library sieht das zum Beispiel so aus:

```
extern "AmigaLib" SysBase
{ void InitCode (register unsigned d0, register unsigned d1) =-0x48;
  void InitStruct (register APTR a1,register APTR a2,
                   register unsigned d0) =-0x4e;
  struct Library *MakeLibrary (  register APTR a0, register APTR a1,
                                 register unsigned (*a2)(),
                                 register unsigned d0,
                                 register unsigned d1) =-0x54;
  void MakeFunctions (  register APTR a0, register APTR a1,
                        register unsigned a2) =-0x5a;
  struct Resident *FindResident (register UBYTE *a1) =-0x60;
  void InitResident (   register struct Resident *a1, register
                        unsigned d1) =-0x66;
```

```
  void Alert (register unsigned d7) =-0x6c;
  void Debug (register unsigned d0) =-0x72;
  void Disable (void) =-0x78;
  void Enable (void) =-0x7e;
  void Forbid (void) =-0x84;
  void Permit (void) =-0x8a;   // usw.
}
```

Wahrscheinlich werden Sie solche Deklarationen aber niemals selbst schreiben müssen, denn sie sind ja für alle Amiga-Libraries bereits vorhanden. Alternativ akzeptiert MaxonC++ auch die `"#pragma amicall"`-Schreibweise, wie sie von anderen C-Compilern bekannt ist. Diese wird im „Preprozessor"-Kapitel dargestellt.

Möglicherweise haben Sie sich oben über die seltsame Parametersyntax mit dem `"register"` gewundert. Das bietet dann auch schon die ideale Überleitung zum nächsten Abschnitt:

2.2.1.3 Daten in Registern

Jeder Prozessor verwaltet nicht nur das RAM, sondern hat darüber hinaus auch einige interne Prozessorregister, in dem in der Regel Zwischenergebnisse von Berechnungen o. Ä. abgelegt werden. Der Zugriff auf diese Register geht ganz erheblich schneller als eine RAM-Operation, und da die Prozessoren der 68000er-Familie mit Registern vergleichsweise üppig ausgestattet sind (ganz im Gegensatz zu diesen INTEL-Dingern), liegt der Wunsch nahe, häufig benutzte Variablen in den nicht anderweitig benutzten Registern abzulegen und so eine ordentlichen Geschwindigkeitssteigerung zu erzielen.

Das klingt zwar alles nach maschinennaher Bitpopelei, aber erfreulicherweise hat man im ANSI C-Standard eine flexible und maschinenunabhängige Schreibweise dafür eingeführt. Den Schlüssel dazu bietet eine Speicherklasse namens `"register"`, die analog zu `"extern"`, `"auto"` oder `"static"` benutzt wird.

Register-Variablen dürfen nur innerhalb von Funktionen deklariert werden. Ansonsten ist man in ihrer Verwendung weitgehend frei: Man darf beliebig viele Variablen beliebiger Typen als `"register"` deklarieren, wobei der Compiler dann entscheidet, was er wirklich in einem (und falls ja, in welchem) Register ablegt. MaxonC++ kann ganzzahlige und Pointer- bzw. Referenzvariablen in Registern unterbringen, wobei die numerischen Typen in Daten-, Zeigertypen in Adressregistern abgespeichert werden.

Auch hier gibt es wieder einen kleinen Unterschied zwischen C und C++: In ANSI C darf man nie die Adresse einer Variablen, die als `"register"` deklariert wurde, nehmen, also den unären Adressoperator `"&"` nicht anwenden. C++ ist da großzügiger: Wird die Adresse einer Registervariablen genommen, wird diese eben doch nicht in einem Prozessorregister, sondern ganz normal auf dem Stack abgelegt.

Registerdeklarationen bringen manchmal in der Tat einiges, die folgende Funktion läuft durch das `"register"` z. B. glatt doppelt so schnell:

```
void test()
{ register int i, j=0;

  for (i=0; i<500000; ++i)
    ++j;
}
```

Man sollte sich aber hüten, allzu ausgiebig von Registern Gebrauch zu machen, denn für praktisch alle Operationen braucht der Prozessor mindestens ein Register, und wenn zu viele davon für Variablen verwendet werden, muß er diese manchmal kurzfristig auf den Stack auslagern und nachher wieder laden, so daß man natürlich keinen Geschwindigkeits-

zuwachs erwarten kann. In jeder Funktion sollte man maximal vier ganzzahlige und zwei Pointervariablen als `"register"` deklarieren. Im Zweifelsfall sollte man in MaxonC++ möglichst ganz auf Register-Variablen verzichten und die Optimierungen einschalten, denn dann entscheidet der Compiler selbstständig, welche Variablen er in Register lädt.

Als kleine Erweiterung des C++-Standards bietet MaxonC++ die Möglichkeit, auch Parameter in Registern zu übergeben. Auch dies kann bisweilen zu gewissen Geschwindigkeitssteigerungen führen. Bei der Funktionsdeklaration ist dazu einfach das Symbol `"register"` vor die Parameter zu setzen, z. B.

```
int Add (register int i, register int j);
```

Dies entspricht aber nicht dem C++-Standard! Man sollte dieses Feature also möglichst vorsichtig einsetzen, da die Programme sonst nicht mehr portabel sind. Am besten benutzt man solche Parameter nur, wenn man fertige Funktionen, die ihre Argumente in Registern erwarten, irgendwie in ein Programm einbinden will, z. B. die Amiga-Betriebssystemfunktionen oder Assembler-Routinen, die sich ja ohnehin schlecht portieren lassen.

Es gibt sogar zwei Möglichkeiten, dem Compiler vorzuschreiben, in welche Register er die Parameter legen soll: Entweder bennent man die Parameter-Variable nach einem 68000er-Register, z.B.

```
void f(register int d0, register char *a2) ...
```

oder man setzt den gewünschten Registername mit `"_"` hinter das Schlüsselwort `"register:"`

```
void f(register _d0 int i, register _a2 char s) ...
```

Wenn man aber auf diese Weise dem Compiler schon Vorschriften macht, welche Register er für Variablen verwenden soll, sollte man sich vorher genau überlegen, was man da tut.

Für selbstgeschriebene C++ Funktionen ist dieses Feature so gut wie tabu, z. B. würde die oben deklarierte Funktion unter Umständen sehr langsam, weil sie möglicherweise das Register `"d0"` ständig braucht und den Inhalt der Register-Variablen dann jedesmal retten und anschließend wiederherstellen muß. Man sollte solche Register-Festlegungen ausschließlich zur Deklaration importierter Assembler- und Systemfunktionen benutzen.

2.2.1.4 Daten im CHIP-RAM

Die Architektur des Amiga ist etwas unkonventionell: Es gibt zwei, manchmal sogar drei verscheidene Klassen von RAM. Einerseits gibt es das Chip-RAM, auf das nicht nur der Prozessor, sondern auch die diversen DMA-Kanäle zugreifen können. Deshalb müssen hier alle Grafik- und Sounddaten stehen. Der übrige Speicher wird Fast-RAM genannt, weil er ausschließlich dem Prozessor zur Verfügung steht, weshalb Zugriffe auf diesen Speicher theoretisch schneller sein könnten. Auf normalen Amigas ist das aber nicht der Fall, so daß die Bezeichnung „Fast-RAM" eigentlich gelogen ist. Auf Amigas mit 32-Bit-Prozessoren (68020, 68030, 68040, ...) gibt es aber meist außerdem noch „echtes" Fast-RAM, nämlich unabhängig vom normalen Systembus getakteten, 32 Bit breiten Speicher. Deshalb muß man genaugenommen zwischem „echtem" und „falschem" Fast-RAM unterscheiden.

In der Praxis interessiert den Programmierer aber nur die Frage „Chip oder nicht Chip", denn er muß dafür sorgen, daß Grafikdaten im Chip-Memory abgelegt werden. Unter MaxonC^{++} ist das einfach: Es gibt dafür die Pragmas `"chip"` und `"fast"`.

Alle nach der Zeile

```
#pragma chip
```

deklarierten statischen Daten werden ins Chip-Ram gepackt,

```
#pragma fast
```

schaltet wieder in den normalen Modus, in dem Daten irgendwo abgelegt werden, bevorzugt aber im Fast-Memory. Ein typsiches Beispiel ist eine Image-Struktur unter Intuition: Die Bitmap des Images dabei immer im Chip-Memory liegen.

```
#pragma chip

unsigned int BMap[] =      // Bilddaten ins CHIP-RAM
{  0x3FFC,
   0x7FFE,
   0xF00F,
   0xF00F,
   0xF00F,
   0xF00F,
   0x7FFE,
   0x3FFC
};

#pragma fast

// Die Image-Struktur selbst darf überall liegen:
struct Image MyImage = { 0, 0, 16, 8, 1, BMap, 1, 1, 0};
```

Auf automatische Daten hat `"pragma chip"` natürlich keinen Einfluß, denn diese werden generell auf dem Stack eingerichtet, und der liegt im allgemeinen nicht im Chip-Memory.

2.2.2 Typdefinitionen

Sicher haben Sie schon bemerkt, daß die Typschreibweisen in C einem ganz schön auf die Nerven gehen können, man denke nur an Dinger wie

```
int (*)[10] // Zeiger auf Vektor
```

Viel schöner wäre es doch, wenn man zusammengesetzte Datentypen mit einem Namen versehen und dann wie die Standardtypen verwenden könnte. Und genau das ist auch möglich, und zwar mit Typdefinitionen.

Eine Typdefinition wird mit dem Wortsymbol `"typedef"` eingeleitet. Rein syntaktisch sieht sie wie eine Variablendeklaration aus, wobei `"typedef"` als Speicherklasse, analog zu `"static"` oder `"extern"`, benutzt wird, nur daß damit eben keine Variable, sondern ein Datentyp deklariert Ein Beispiel:

```
typedef int Vektor[10];
```

Nun steht der Bezeichner `"Vektor"` für den Datentyp `"int[10]"` und kann fortan in Deklarationen und Typbeschreibungen aller Art benutzt werden, z. B.

```
Vektor vec, *tra, matrix[5];
typedef Vektor *Vektorzeiger;
void AddVec (Vektor v1, Vektor v2, Vektor ergebnis);
```

Die Bezeichnung „Typdefinition" ist dabei etwas irreführend, denn in Wirklichkeit definiert man keinen neuen Typ, sondern führt lediglich einen neuen Namen für einen Datentypen ein. Das ist keine Spitzfindigkeit, sondern führt z. B. dazu, daß die Deklarationen

```
void Ausgabe(Vektor v);
void Ausgabe(int v[10]);
```

ein und dieselbe Funktion bezeichnen, denn die jeweiligen Parameter haben denselben Datentyp, auch wenn sie unter unterschiedlichen Typbezeichnungen deklariert wurden.

Einem Bezeichner kann mehrfach derselbe Typ zugewiesen werden, beispielsweise

```
typedef char *Strvec[42];
typedef char *Strptr;
typedef char Zeichen;
typedef Zeichen *Strptr;      // Nochmal definiert, OK
typedef Strptr Strvec[42];    // auch OK
typedef Strptr Strvec[41];    // ERROR
```

Außer zur Abkürzung oder zur Steigerung der Übersichtlichkeit kann man Typdefinitionen auch zur besseren Portabilität von Programmen einsetzen. Unter MaxonC++ ist ein `"int"` bekanntlich 32 Bit breit, aber es gibt durchaus auch Systeme, bei denen das nicht so ist (z. B. sind im MessyDos-Sektor noch 16-Bit-ints üblich). Deshalb ist es empfehlenswert, in einem Programm am Anfang zuerst einmal alle Datentypen zu deklarieren, z. B.

```
typedef int i32;
typedef unsigned u32;
typedef short i16;
typedef unsigned short u16;
```

Wenn man im restlichen Programm dann nur noch seine selbstdefinierten Typbezeichnungen verwendet, braucht man bei der Übertragung auf andere Compiler nur noch diese Typdeklarationen anzupassen.

Dabei ist es naheliegenderweise nicht möglich, Symbole wie `"short"` oder `"unsigned"` auf selbstdefinerte Datentypen anzuwenden, also nach den obigen Definitionen folgendes zu schreiben:

```
unsigned i32 x;  // ERROR
u32 y;              // So ist's richtig
```

Eine Speicherklasse ist eine Eigenschaft eines bestimmten Datenobjekts, aber niemals Bestandteil eines Datentyps:

```
typedef static int SI;  // ERROR
```

Typqualifizierungen sind dagegen durchaus Teil eines Datentyps, womit ich wieder einmal elegant zum folgenden Abschnitt übergeleitet habe:

2.2.3 Konstante Daten auf der Flucht

2.2.3.1 Die „const"-Qualifizierung

Ein Feature, das zuerst in C++ eingeführt und dann von ANSI C abgekupfert wurde, ist die Typqualifizierung mit den Symbolen `"const"` und `"volatile"`. Man kann praktisch jeden Datentyp mit derartigen Qualifizierungen versehen und dann Objekte dieser Typen deklarieren, z. B.

```
const int i = 4711;
```

Der Wert der Variable `"i"`, die den Datentypen `"const int"` hat, kann (so gut wie) nicht verändert werden, bleibt also immer der, mit dem sie initialisiert wurde. Den Versuch einer Wertzuweisung an `"i"` würde der Compiler nicht durchgehen lassen. Dabei weist er sogar ziemlich clevere Versuche zurück, etwa den folgenden:

```
void main()
{  const int i = 4711;

   int *ip;
   ip = &i;          // ERROR
   *ip = 98;

   const int *ip2;
   ip2 = &i;
   *ip2 = 99;        // ERROR
}
```

Nimmt man die Adresse einer "const"-Variablen, z. B. mit "&i", ist das Ergebnis ein Zeiger auf "const int". Den Versuch, einen solchen Zeigerwert "ip2", also einem normalen Zeiger auf "int", zuzuweisen, läßt der Compiler nicht durchgehen, denn anschließend könnte man ja den Wert von "i" über diesen Zeiger verändern. Der zweite Versuch wird auch fehlschlagen. Zwar wird "ip2" als Zeiger auf "const int" deklariert, so daß die Adresse von "i" an "ip2" zugewiesen werden kann. Wenn dann aber bei "*ip2" der Inhaltsoperator darauf angewendet wird, kommt ein L-Wert des Typs "const int" dabei heraus, und Wertzuweisungen daran sind wieder einmal verboten.

Umgekehrt darf man einen Zeiger auf etwas Konstantes durchaus mit nicht-konstanten Daten initialisieren:

```
void f()
{ int i, *pi;
  const int ci, *pci;

  pci = &i;   // OK
  pi  = &ci;     // ERROR
}
```

Übrigens bezeichnet

```
const T*
```

tatsächlich einen Zeiger auf ein konstantes "T". Einen konstanten Zeiger auf "T" deklariert man als

```
T *const
```

Beides kann man natürlich auch kombinieren:

```
int i;

const int *const p = &i;  // Konst. Zeiger auf konst. "int"
```

Welchen Sinn hat nun dieses Gewurschtel mit dem "const"? Hauptsächlich dient dies dazu, anhand der Programmstruktur deutlicher auszudrücken, welche Daten wo verändert werden können. Beispielsweise kann man Vektoren nicht als solche, sondern nur in Gestalt von Zeigern darauf an Funktionen übergeben. Dadurch kann jede Funktion, die einen Vektor als Parameter hat, das als Argument übergebene Datenobjekt verändern, und man kann dann einem Funktionsaufruf nicht direkt ansehen, ob es dabei einen Seiteneffekt auf das Argument gibt. Sehen wir uns dagegen einmal die folgende kleine Funktion an, die nichts anderes tun soll, als einen String auszugeben:

```
#include <stream.h>

void Ausgabe (const char* st)
{ cout « st;
}
```

Der Programmierer kann innerhalb der Funktion `"Ausgabe"` nicht den Inhalt der Zeichenkette, auf die `"st"` zeigt, verändern, denn dann haut ihm der Compiler auf die Pfoten. Dann ist auch bei jedem Aufruf von `"Ausgabe"` klar, daß der Argument-String dadurch nicht verändert wird.

Die strengen Schutzvorschriften für konstante Daten gelten natürlich nicht nur für Zeiger, sondern auch für Referenzen. Eine Referenz auf einen nicht-konstanten Datentyp kann niemals mit der Adresse eines konstanten Objekts initialisiert werden, z. B.

```
const int i = 007;

int &ir1 = i;            // ERROR
const int &ir2 = i;   // OK
```

Rein syntaktisch ist es auch möglich, so etwas wie eine „konstante Referenz" analog zu den „konstanten Zeigern" zu deklarieren:

```
int &const irc = i;
```

In der Praxis hat man aber sowieso keine Möglichkeit, eine Referenz auf ein anderes Objekt als dem, mit dem sie initialisiert wurde, verweisen zu lassen, und deshalb ist es egal, ob man eine Referenz nun konstant deklariert oder in Peking eine Ente abstürzt.

Ein konstanter Referenz-Parameter wie

```
void f(const T &par);
```

ist eine echte Alternative zu „gewöhnlichen" Parametern wie

```
void g(T par);
```

vor allem dann, wenn `"T"` ein umfangreicher Datentyp ist, z. B. eine Struktur (siehe 2.5). Bei ersterem muß innerhalb der Funktion `"f"` bei jedem Zugriff auf `"par"` nachgesehen werden, wohin diese Referenz nun verweist, bei letzterem muß das Argument beim Funktionsaufruf auf den Stack kopiert werden. Der Programmierer sollte in solchen Situationen abschätzen, was wohl weniger Laufzeit kostet - im Zweifelsfall ist der Referenz-Parameter überlegen.

Der Datentyp

```
const char[20]
```

bezeichnet genaugenommen einen Vektor aus konstanten Zeichen und nicht einen konstanten Vektor. In der Praxis ist das aber natürlich dasselbe.

Eine „konstante Zeichenkette" der Länge `"n"` hat aus traditionellen Gründen den Typ `"char[n]"` und nicht etwa `"const char[n]"`. Das liegt daran, daß die allererste C-Version `"const"` noch nicht kannte und es deshalb prinzipiell erlaubt ist, den Inhalt einer konstanten Zeichenkette zu verändern (siehe auch 2.1.2.5.1). Heutzutage ist eine solche Definition natürlich nicht mehr besonders sinnvoll, aber man wollte eben zu älteren C-Implementierungen kompatibel bleiben.

2.2.3.2 Flüchtige Daten: „volatile"

Mancher Compiler ist ziemlich schlau, und das kann Probleme geben. Beispielsweise kann man auf dem Amiga ziemlich rüde die Tastatur abfragen, nämlich an der Speicheradresse `0xbfec01`:

```
void waitforspace()
{ unsigned char *key = (char*) 0xbfec01;

  while (*key != 0x7f);// Warte, bis "Space"-Taste gedrückt
}
```

Die Funktion wartet in einer `"while"`-Schleife darauf, daß die Leertaste gedrückt wird, indem immer wieder an der entsprechenden Speicheradresse nachgesehen wird, ob dort der entsprechende Code steht. Nun könnte ein Compiler ins Grübeln geraten und sich denken: „In dieser 'while'-Schleife wird ständig der Inhalt von `'*key'` benutzt, aber weder `'key'` noch `'*key'` oder eine andere Variable verändert. Also wäre es doch dumm, `'*key'` jedesmal wieder auszuwerten. Ich lade diesen Wert lieber am Schleifenanfang einmal in ein Prozessorregister und benutze dann immer den Registerinhalt."

Das Ergebnis wäre zwar prinzipiell eine relativ schlaue Optimierung, aber eben falsch: Der Compiler ahnt ganz einfach nicht, daß der Inhalt von `"*key"` sich auch ohne Zutun des Programms verändern kann. Für solche Fälle gibt es die Qualifizierung `"volatile"`, die völlig analog zu `"const"` eingesetzt werden kann. In der Funktion `"waitforspace"` ist die Variablendeklaration zu ersetzen durch:

```
volatile unsigned char *key = (char*) 0xbfec01;
```

Nun weiß der Compiler, daß `"key"` auf einen Wert zeigen soll, der sich ganz unabhängig vom Programm verändern kann (`"volatile"` heißt „flüchtig"), und daß er beim Ausdruck `"*key"` jedesmal wirklich an der jeweiligen Speicheradresse nachsehen muß.

Ganz penible Programmierer würden in diesem Fall übrigens `"const"` und `"volatile"` kombinieren:

```
volatile const unsigned char *key = (char*) 0xbfec01;
```

Aus der Speicherstelle `"0xbfec01"` kann man nämlich nur lesen, während Schreibzugriffe ergebnislos bleiben. Deshalb ist es für die (leider viel zu wenigen) Ästheten unter den C-Programmierern eine Selbstverständlichkeit, dieses dann auch durch ein zusätzliches `"const"` auszudrücken.

Da wir gerade bei solchem Brimborium sind: Noch schöner wäre natürlich

```
volatile const unsigned char *const key = (char*) 0xbfec01;
```

denn wir haben ja nicht das Bedürfnis, den Wert von `"key"`, also die Speicheradresse, noch einmal zu verändern. Nun könnte der Compiler wieder etwas optimieren: Er weiß jetzt, daß `"key"` immer auf die Adresse `"0xbfec01"` zeigen wird, und braucht fortan den Wert von `"key"` nicht mehr zu betrachten, sondern kann von dem konstanten Wert ausgehen.

Eine typische Anwendung für die "volatile"-Qualifizierung ist auch die Kommunikation zwischen Tasks. Auf dem Amiga kann man bekanntlich, wenn auch nicht ganz so einfach wie unter UNIX, mehrere Prozesse gleichzeitig laufen lassen. Die Kommunikation zwischen parallelen Prozessen könnte man der Einfachheit halber über gemeinsame Variablen laufen lassen, und genau diese Variablen muß man dann unbedingt als "volatile" deklarieren, denn sonst weiß der Compiler nicht, daß ein anderer Prozess sie hinterrücks verändern kann.

Im großen und ganzen ist "volatile" aber ein „Low level"-Konzept, daß ganz einfach den Compiler davon abhalten soll, da zu optimieren, wo es unerwünscht ist, wogegen die Qualifizierung "const" ein sehr mächtiges Sprachkonstrukt ist, das fernab jeder Maschinennähe oder Compilerabhängigkeit dabei hilft, Datenflüsse im Programmtext auszudrücken. Ein disziplinierter, auf stilistische Sauberkeit bedachter Programmierer wird "const" überall da benutzen, wo es sinnvoll ist, aber nur selten in eine Situation geraten, wo er "volatile" benutzen kann oder sogar muß.

2.2.4 Inline-Funktionen

Jeder Funktionsaufruf stellt einen ziemlichen Aufwand dar. Zuerst muß der aufrufende Code auf dem Stack Platz für die Argumente einrichten und diese dort ablegen. Dann folgt ein "JSR"-Sprung in die Funktion, die zunächst den nötigen Speicherplatz für ihre eigenen Daten auf dem Stack reserviert und die Inhalte aller Prozessorregister, die sie verändert, irgendwo abspeichert. Am Ende der Funktion werden dann wieder die alten Registerinhalte hergestellt, die lokalen Variablen werden vom Stack entfernt und mit "RTS" wird in das aufrufende Programm zurückgesprungen, wo dann zu guter Letzt auch noch die Argumente wieder vom Stack genommen werden müssen. Da gerät man als Programmierer bisweilen in Gewissenskonflikte: Soll man nun eine pisselige kleine Funktion definieren oder den Inhalt dieser Funktion jedesmal in das Programm einsetzen? Ein typisches Beispiel ist die Maximum-Funktion:

```
int max(int a, int b)
{ if (a>b)
     return a;
  else
     return b;
}
```

Statt eines Funktionsaufrufs "max(x,y)" könnte man bekanntlich alternativ jedes mal "(x>y: x : y)" einsetzen, was zwar schneller, aber bestimmt nicht lesbarer wäre. Für solche Fälle hat C++ ein nettes kleines Feature: „Inline"-Spezifikationen.

Wenn Sie vor die erste Deklaration (und auf Wunsch auch vor die folgenden) einer Funktion das Schlüsselwort "inline" setzen, wird bei jedem Aufruf dieser Funktion die Funktionsdefinition gewissermaßen in den aufrufenden Quelltext eingesetzt. Syntaktisch oder semantisch wird das Programm dadurch nicht verändert: Man deklariert einfach

```
inline int max(int a, int b)
{ if (a>b)
     return a;
```

```
  else
    return b;
}
```

und kann "max" dann wie eine ganz gewöhnliche Funktion benutzen. Der Unterschied liegt lediglich im dafür generierten Code. Mit "inline" wird der Inhalt von "max" jedesmal in den aufrufenden Code hineinkopiert. Dadurch wird so einiges gespart: Es muß weder mit "JSR" in die Funktion hinein- noch mit "RTS" aus ihr herausgesprungen, es müssen in der Regel keine Registerinhalte gesichert und nachher wieder hergestellt werden (es werden in der Kopie von "max" nach Möglichkeit nur solche Register benutzt, die im aufrufenden Code gerade frei sind), und die Funktion muß für ihre Daten keinen eigenen „Frame" auf dem Stack einrichten. Das Funktionsergebnis wird nicht notwendigerweise im Register d0, sondern dort, wo es gerade anfällt, zurückgegeben, und auch sonst hat der Compiler noch viele Optimierungsmöglichkeiten.

Eine Inline-Funktion wird also nicht nur einmal erzeugt, sondern in vielen Kopien, für jeden Aufruf eine. Es dürfte klar sein, daß Inlining Programme enorm aufblähen kann und man es deshalb damit nicht übertreiben sollte. Der Compiler darf aber prinzipiell das "inline" einfach ignorieren. MaxonC++ handhabt dies natürlich besser: Was "inline" sein soll, wird auch „geinlinet". Trotzdem kann es Situationen geben, in denen eine Inline-Funktion zusätzlich auf ganz gewöhnlich Art und Weise erzeugt werden muß, z. B. wenn man die Adresse einer solchen Funktion nimmt (siehe 2.3), wenn sie schon benutzt wird, bevor sie deklariert wird (schließlich kann der Compiler nicht hellsehen), oder wenn eine Inlinefunktion schlauerweise rekursiv ist (man kann eine Funktion ja nicht beliebig oft rekursiv in sich selbst hineinkopieren). All dies ist nämlich erlaubt, denn man kann eine Inline-Funktion ganz genau wie jede andere Funktion benutzen.

Wird eine Inline-Funktion aus einem der oben genannten Gründe (oder weil irgend so ein Compiler keine echten Inlines 'draufhat) real erzeugt, hat sie sinnvollerweise interne Linkage (wie mit "static" deklariert), so daß andere Module nichts davon merken, wenn eine Funktion in einer Übersetzungseinheit tatsächlich generiert wurde. Deshalb gelten für "inline" ähnliche Vorschriften wie für die Speicherklasse "static": Die Deklarationsreihenfolge

```
inline void f();
void f();
```

ist erlaubt,

```
void f();
inline void f(); // ERROR
```

hingegen nicht. Nebenbei bemerkt zählt "inline" nicht als Speicherklasse (wie "static" oder "extern"), sondern als „Funktions-Spezifierung" (wie auch "virtual", aber das kommt später). Diese Unterscheidung ist aber eher etwas für Standardisierungskommisionsmitglieder und Compilerbauer.

Abschließend ist als Zusammenfassung zusammenfassend zusammenzufassen, daß man mit "inline" zwar Laufzeit sparen kann, dies aber mit einer (oft erheblichen) Vergrößerung des Pro-

gramms erkaufen muß. Deshalb sollte man `"inline"` nur bei wirklich winzigen Funktionen einsetzen.

2.3 Zeiger auf Funktionen

2.3.1 Wohin zeigen Zeiger auf Funktionen?

Im Abschnitt 2.2.4 wurde bereits angedeutet, daß jede Funktion, einmal abgesehen von `"inline"`-Deklarationen, einen Code hat, der erzeugt wird und in den eingesprungen wird. Natürlich liegt dieser Code dann irgendwo im Speicher und hat folglich auch eine Adresse. Genaugenommen nimmt eine Funktion natürlich einen ganzen Speicherbereich ein, hat also eine Anfangs- und eine Endadresse. Für ihre Benutzung ist aber lediglich die Einsprungadresse interessant, im allgemeinen identisch mit der Startadresse. Eben diese charakteristische Adresse einer Funktion kann man „nehmen" und benutzen, um die Funktion auf dem Umweg über diese Adresse aufzurufen.

Wie gewohnt, müssen wir auch hier zunächst wissen, wie man einen Zeiger auf eine Funktion, bzw. eine solche Zeigervariable, deklariert. Sei `"f"` eine Funktion, die ein `"int"` als Parameter hat und `"double"` zurückgibt. Dann wissen Sie natürlich längst, wie man ein solches `"f"` deklariert:

```
double f(int);
```

Nun möge `"fp"` eine Variable sein, die auf eine Funktion eben dieser Art zeigt. Die deklariert man dann so:

```
double (*fp)(int);
```

Sie erinnern sich vielleicht: Die Klammern um `"*fp"` sind nötig, weil `"fp"` sonst eine Funktion ist, die einen Zeiger auf `"double"` zurückgibt, also im Prinzip das gleiche Theater wie bei dem „Zeiger auf Vektor" und „Vektor von Zeigern".

Weiter geht es dann ganz wie gewohnt: Man weist `"fp"` die Adresse einer passenden Funktion, also z. B. `"f"`, zu. Mit „passend" ist hier gemeint, daß Parameterliste und Ergebnistyp der Funktion mit dem von `"fp"` referierten Funktionstyp übereinstimmen müssen. Die Adresse einer Funktion nimmt unser bekannter Adressoperator `"&"`:

```
fp = &f;  // Nun zeigt "fp" auf Funktion "f"
```

Das Gegenteil vom Adress- ist der Inhaltsoperator, folglich kommen wir mit `"*fp"` an die Funktion, auf die `"fp"` zeigt, und können sie ganz normal mit einer geeigneten Argumentliste aufrufen, z. B. so:

```
double d1 = (*fp)(42);
```

Auch hier sind die Klammern um `"*fp"` nötig, denn sonst würde wieder einmal die Argumentliste stärker binden als der Inhaltsoperator: `"*fp(42)"` ruft eine Funktion `"fp"` auf (die es natürlich nicht gibt) und wendet auf deren Ergebnis den Operator `"*"` an.

2.3.2 Anmerkungen zu Syntax und anderen Details

Die Regeln, wie man mit Deklarationen wie

```
char*(*xxx)(char*);
```

klarkommt, wurden ja bereits in Abschnitt 2.1.2.3 genannt, und wenn Sie die beherzigen, werden Sie schnell herausfinden, daß hier `"xxx"` als ein Zeiger auf eine Funktion, die sowohl als Parameter und als Ergebnis einen Zeiger auf `"char"` hat, deklariert wird. Auch wissen Sie (hoffentlich) noch, daß man Datentypen wie Variablendeklarationen schreibt, nur daß man den Variablennamen wegläßt. Das soll hier, anhand eines Beispiels aus der Praxis demonstriert werden:

```
void konfus()
{ void *p;
  int a,b,c;

  (**(void(**)(...))p)(a,b,c); // Nanu?
}
```

Was ist das??? Also, wenn man die mysteriöse Zeile einmal betrachtet, stellt man fest, daß man auf oberster Ebene zwei aufeinanderfolgende Klammerausdrücke hat, deren rechter, `"(a,b,c)"`, nach allen C-Sprachregeln nur eine Argumentliste sein kann. Folglich ist der rätselhafte linke Teil der Anweisung ein Ausdruck, der einen Zeiger auf eine Funktion darstellt. Schaun' mer doch ma', was da so in der Klammer steht: Da sind zwei Inhaltsoperatoren `"**"`, ein weiteres Klammerpaar mit seltsamem Inhalt und schließlich der Bezeichner `"p"`. Dieser innere Klammerausdruck, `"(void(**)(...))"`, kann nur ein Cast sein, also eine explizite Typumwandlung, folglich muß `"void(**)(...)"` ein Datentyp sein. Wenn wir darin einfach einen Bezeichner einfügen,

```
void (**x)(...);
```

erhalten wir die Deklaration eines Zeigers auf einen Zeiger auf eine Funktion, die beliebige Parameter und Ergebnistyp `"void"` hat. Also wird in unserem Beispiel der Bezeichner `"p"` in genau jenen Typ verwandelt, anschließend wird zweimal der Inhaltsoperator angewandt, so daß wir die Funktion erhalten, auf die der Zeiger verweist, auf den `"p"` zeigt. Zum Abschluß wird diese Funktion mit den Argumenten `"(a,b,c)"` aufgerufen. Wenn man es so sieht, ist das doch ganz einfach...

Es gibt allerdings eine gewisse Konvention, nach der der Name einer Funktion identisch ist mit dem Zeiger auf Startadresse dieser Funktion, ähnlich wie der Name eines Vektors der Adresse des ersten Vektorelements entspricht. Deshalb kann man es sich in der Regel sparen, den Operator `"&"` auf Funktionen anzuwenden, z. B.

```
void f();

void main()
{ void (*fp)();

  fp = main;     // Statt "&main"
  fp = f;        // Statt "&f"
```

```
   (*fp)();        // Funktionsaufruf
}
```

In ANSI C ist sogar ausschließlich diese Schreibweise erlaubt, während C++ es dem Programmierer überläßt, ob er hier das `"&"` setzen will oder nicht.

Wenn aber der Name einer Funktion mit einem Zeiger auf diese Funktion identisch ist, besteht ein Funktionsaufruf immer aus zweierlei: einem Zeiger auf eine Funktion und einer Argumentliste. Deshalb ist es in Folge des obigen Features zusätzlich auch erlaubt, beim Funktionsaufruf über Pointer den Operator `"*"` wegzulassen:

```
void f();

void main()
{  void (*fp)() = f;

   fp();      // Statt "(*fp)()"
}
```

Dadurch sieht ein Funktionsaufruf über Zeiger syntaktisch wie ein gewöhnlicher Funktionsaufruf aus. Diesmal erlauben sowohl ANSI C als auch C++ beide Schreibweisen. Somit hängt es auch hier wieder von Ihrem persönlichen Geschmack ab, ob Sie ein `"*"` setzen wollen oder nicht.

2.3.3 Zeiger auf Überladene Funktionen

C++ kennt bekanntlich das schöne Feature des Überladens von Funktionen. Die daraus resultierenden Probleme beim Funktionsaufruf werden durch einen umfangreichen Satz von Matching-Regeln gelöst, so daß der Compiler anhand der Typen der Argumente stets die richtige Funktion herausfinden kann. Wenn man aber die Adresse einer Funktion nimmt, gibt man ja nur ihren Namen, aber keine Argumente an. Wie kann man also sauber angeben, welche Funktion nun bei Überladung gemeint ist? Dafür hat man in C++ eine verblüffend einfache Lösung gefunden.

Betrachten wir als Beispiel einmal die beiden Funktionen

```
int f(int);
double f(double);
```

Der Ausdruck `"&f"` (oder einfach `"f"`, ganz nach Geschmack) stellt nun nicht mehr einen Zeiger auf eine bestimmte Funktion dar, sondern hat den ganz eigenen Datentyp „Zeiger auf die überladene Funktion f" und keinen bestimmten Wert. Dieser Ausdruck kann aber in einen „passenden" Funktionszeigertyp umgewandelt werden, nämlich (klar) in die beiden Typen `"int (*)(int)"` und `"double (*)(double)"`. Einen Zeiger auf eine überladene Funktion kann man aber (im Gegensatz zu allen anderen Zeigertypen) nicht z. B. in `"void*"` umwandeln, denn dann kann der Compiler ja nicht aus dem Zusammenhang schließen, welche Funktion `"f"` gemeint ist.

Also enthält das folgende Programm zwei richtige und zwei falsche Initialisierungen:

```
int f(int);
```

```
double f(double);

void main()
{ int (*fp1)(int) = f;     // OK, da eindeutig
  void (*fp2)(int) = f; // ERROR, da kein passendes "f"

  void *vp1 = main;        // OK, "main" nicht überladen
  void *vp2 = f;           // ERROR, "f" ist überladen
}
```

Die von `"vp1"` referierte Funktion könnte man übrigens nicht direkt aufrufen, sondern muß den Zeigerausdruck erst casten, aber wie das geht, stand ja schon in 2.3.2.

2.3.4 Eine Anwendung: „qsort" und „bsearch"

Weniger erfahrene Programmierer werden jetzt vielleicht fragen, was das mit den Zeigern auf Funktionen eigentlich soll. Um es einmal ganz vornehm auszudrücken, sind Funktionszeiger eine elegante und schnelle Möglichkeit, nicht nur Daten, sondern auch Verfahren und Methoden abzuspeichern. Da der typische C-Programmierer aber eher ein praktisch denkender, bodenständiger Mensch ist, soll hier ein kleines Beispiel angeführt werden.

Es gibt Tage im Leben eines Programmierers, da muß man ganz allgemein Daten irgendwie sortieren. Die Algorithmenforschung hat im Laufe der Zeit etliche Sortierverfahren hervorgebracht, deren Darstellung ich mir hier aber ersparen möchte. Eines davon ist jedenfalls als „Quicksort" bekannt, und der Nomen, äh, Name ist ein Omen, denn dieses Verfahren ist wirklich ziemlich schnell. Als C-Programmierer müssen Sie es noch nicht einmal selbst implementieren, denn Quicksort steht als Standardfunktion zur Verfügung!

Dabei muß der Funktion irgendwie in Form eines Arguments gesagt werden, um welche Art von Daten es sich handelt und nach welchen Kriterien diese sortiert werden sollen. Genaugenommen braucht die Funktion folgende Angaben:

1. Wo liegt der zu sortierende Vektor (Anfangsadresse)?
2. Wie viele Elemente hat er?
3. Wie groß ist jedes einzelne Element? (Der genaue Datentyp ist egal, nur der Speicherplatzbedarf interessiert.)
4. Unter welchen Umständen soll ein Element im sortierten Vektor vor einem anderen stehen?

Die drei ersten Argumente kann man mit einem Pointer und zwei Zahlen erledigen, das letzte Argument kann sinnvoll nur in Form eines Zeigers auf eine Funktion realisiert werden.

Die Quicksort-Funktion ist in „*<stdlib.h>*" folgendermaßen deklariert:

```
void qsort(void *base, unsigned n, unsigned size, int (*cmp)(const
void*, const void*) );
```

Dabei bedeuten:

`"base"`: Zeiger auf Vektoranfang

`"n"`: Elementanzahl

`"size"`: Elementfröße

`"cmp"`: Zeiger auf eine Funktion, die zwei Vektorelemente vergleicht und einen negativen Wert liefert, wenn das erste Argument im Sinne der Sortierreihenfolge „kleiner" als das zweite ist, bzw. Null, wenn beide Elemente gleich sind, oder einen positiven Wert, wenn das erste Element „größer" als das zweite ist.

Als Beispiel wollen wir ganz einfach einen Vektor von hundert `"int"`-Werten sortieren und dann ausgeben. Um uns die Eingabe der Daten zu ersparen, ziehen wir einfach mit der Funktion `"rand()"`, ebenfalls aus `"<stdlib.h>"`, 100 Zufallszahlen.

Vor allem brauchen wir aber eine Vergleichsfunktion, die Zeiger auf zwei `"int"`-Objekte erhält und diese dann vergleicht. Formal muß man die Argumente leider als `"void"`-Pointer deklarieren:

```
int CompareInt(const void *p1, const void *p2);
```

Deshalb muß jede Benutzung der Parameter `"p1"` und `"p2"` mit einem Clast `"(int*)"` versehen werden. Zufälligerweise liefert eine Subtraktion von `"int"`-Werten gerade das gewünschte Ergebnis: negativ bei „kleiner", Null bei „gleich" und positiv bei „größer". Also sieht unser kleines Programm so aus:

```
#include <stdlib.h>   // Für "qsort" und "rand"
#include <stream.h>

int CompareInt(const void *p1, const void *p2)
{ return *(int*)p1 - *(int*)p2;
}

void main()
{ int Vek[100], i;

  for (i=0; i<100; ++i)   // Vektor initialisieren:
    Vek[i] = rand();        // Irgendwelche Zufallszahlen

  qsort(Vek, 100, sizeof(int), CompareInt);  // Sortieren

  // Daten ausgeben (10 Zahlen pro Zeile):
  for (i=0; i<100; ++i)
    cout « Vek[i] « (i%10 == 9 ? "\n" : " ");
}
```

Wozu ist ein sortierter Vektor gut? Einerseits ist es natürlich oft ganz einfach schöner, wenn man Daten sortiert ausgibt. Vor allem kann man Daten in einem sortierten Vektor wesentlich besser suchen. Stellen Sie sich z. B. einmal das Telefonbuch vor. Da die Einträge dort alphabetisch sortiert sind, muß man nicht das Ganze Buch von vorn an durchlesen, um einen Namen zu finden. Man schaut zuerst irgendwo in das Buch und stellt fest, ob der Eintrag, den man gerade gefunden hat,

vor oder hinter dem gesuchten steht, und sucht dann entweder vor oder hinter der aktuellen Position weiter. Dies wiederholt man dann so lange, bis man den gewünschten Eintrag gefunden hat.

Auch der Computer kann in sortierten Daten so suchen. Dabei wird der zu durchsuchende Bereich bei jedem Schritt halbiert, weshalb man dieses Verfahren „binäres Suchen" nennt. Auch dafür gibt es in `"<stdlib.h>"` eine Funktion, nämlich `"bsearch"`:

```
void *bsearch(const void *key, const void *base, unsigned n, unsigned
size,int (*cmp)(const void*, const void*));
```

`"key"` ist dabei ein Zeiger auf ein Datenobjekt, das im Vektor zu suchen ist, die übrigen Parameter sind wie bei `"qsort"`. In unserem Beispiel könnte man nach dem Sortieren mit

```
int j = 42;
void *position = bsearch(&j, Vek, 100, sizeof(int),
                         CompareInt);
```

prüfen, ob die Zahl `"42"` zufällig im Vektor vorkommt. Wenn ja, zeigt das Funktionsergebnis auf das entsprechende Vektorelement, und man könnte z. B. mit

```
(int*)position - base
```

den Index berechnen. Kommt `"42"` nicht vor, liefert `"bsearch"` das Ergebnis Null.

2.4 Aufzählungen

2.4.1 Deklaration

Die bis hier erwähnten Standard-Datentypen, also diverse Arten von Zahlen, Zeichen und Zeichenketten, sind zwar ganz nützlich, aber oft nicht ausreichend, um Daten zu repräsentieren. Wenn man die Daten einer Person abspeichern will (Achtung, immer brav das Bundesdatenschutzgesetz beachten!), können wir den Namen (eine Zeichenkette) oder das Geburtsjahr (ganzzahlig) mit den Standardtypen behandeln, aber wie drücken wir den Familienstand oder das Geschlecht in Daten aus?

Die Standardmethode dafür ist, eine numerische Kodierung einführen, etwa „0 heißt ledig, 1 verheiratet, 2 geschieden..." und solche Daten dann als Zahlen abzuspeichern. Schön ist das aber nicht gerade, denn diese nackten Zahlen sagen irgendwie nichts aus. Deshalb gibt es in C das Konzept der „Aufzählungstypen".

Eine Aufzählung oder „Enumeration" wird nicht aus den Standardtypen abgeleitet, sondern stellt einen ganz neuen, eigenen Datentyp dar. Deshalb kann man einen Aufzählungstypen nicht einfach beschreiben wie z. B. einen Pointertypen, sondern muß ihn deklarieren, und zwar zweckmäßigerweise unter einem bestimmten Namen.

Die Deklaration eines Aufzählungstyps besteht aus dem Schlüsselwort `"enum"` und dem (optionalen) Typnamen, z. B.

```
enum Farbe;
```

Mit so einer Deklaration kann man aber noch nichts anfangen, vor allem keine Objekte dieses Typs deklarieren. Jeder `"enum"`-Typ braucht sinnvollerweise eine Deklaration, bei der festgelegt wird, welche Werte er umfassen soll. Ein Beispiel:

```
enum Farbe { Rot, Gruen, Blau };
```

Der Aufzählungstyp `"enum Farbe"` umfaßt jetzt die drei Werte `"Rot"`, `"Grün"` und `"Blau"`. Jeder dieser Werte ist eine numerische Konstante, die durch einen Bezeichner repräsentiert wird. Das folgende Programmfragment demonstriert die Anwendung von Aufzählungen:

```
#include <stream.h>

enum Familienstand { ledig, verheiratet, geschieden, verwitwet };

void Heirat (enum Familienstand P1, enum Familienstand P2)
{ if (P1 == verheiratet || P2 == verheiratet)
    cout « "Ein Partner ist schon verheiratet!\n";
  else
    cout « "Geht in Ordnung.\n";
}

void main()
{ enum Familienstand f1, f2;

  f1 = ledig;

  // ...

  Heirat (f1, f2);

  // ...

  switch (f1)
  { case ledig:
      cout « "ledig";
        break;
      case verheiratet:
        cout « "verheiratet";          break;
      case geschieden:
      case verwitwet:
        cout « "nicht mehr verheiratet";
        break;
    }

  // ...
}
```

Man beachte vor allem, daß Aufzählungswerte Bezeichner und keine Strings sind. Folglich stehen sie im Programm ohne Hochkommata und können nicht direkt über `"cout"` ausgegeben werden.

Man kann auch Typ- und Variablendeklaraton vermischen:

```
enum Antwort {Ja, Nein} A1 = Ja, A2 = Nein, A3;
```

Diese Zeile deklariert den Aufzählungstyp `"Antwort"`, die beiden Konstanten `"Ja"` und `"Nein"` und die drei Variablen `"A1"`, `"A2"` und `"A3"`. Auf diese Weise ist es auch möglich (allerdings meist nicht sehr sinnvoll), namenlose Aufzählungstypen zu deklarieren:

```
enum {Ja, Nein} A1 = Ja, A2 = Nein, A3;
```

Der hier definierte namenlose Datentyp mit den beiden Werten `"Ja"` und `"Nein"` kann nicht noch einmal für Deklarationen benutzt werden: Wenn man eine Zeile wie

```
enum {Ja, Nein} A4;      // ERROR: "Ja"+"Nein" redefined
```

hinzufügt, beschwert sich der Compiler, daß die beiden Bezeichner `"Ja"` und `"Nein"` überdefiniert werden. Jede Aufzählung darf höchstens einmal definiert werden, auch nicht zweimal mit exakt denselben Werten.

2.4.2 Typnamen und Typlabel

Etwas seltsam ist, daß bei Aufzählungstypen in C das Schlüsselwort `"enum"` immer mitgeschleift werden muß: Nach der Deklaration

```
enum X {a, b, c,};
```

gibt es einen Datentypen namens `"enum X"`, während `"X"` allein kein Typname, sondern lediglich ein sog. „Typlabel" ist. Originellerweise kollidieren die Typlabel eines Scopes nicht mit anderen Bezeichnern, so daß folgende Deklaration durchaus möglich ist:

```
enum X {a, b, c};  // Typdefinition

enum X X;              // Variablendeklaration
```

Die erste Zeile deklariert einen Aufzählungstyp mit dem Typlabel `"X"`, während in der zweiten Zeile eine Variable namens `"X"` deklariert wird, die obendrein auch noch den Typ `"enum X"` hat... ganz schön verrückt!

Man kann dieses Feature aber auch benutzen, um das ewige `"enum"` zu vermeiden:

```
typedef enum X {a, b, c} X;
```

Auf diese Weise deklariert man sowohl ein Typlabel `"X"` als auch einen gleichnamigen Typbezeichner, und fortan kann man wahlweise mit

```
enum X x1;
```

als auch mit

```
X x2;
```

Variablen deklarieren - jedenfalls in ANSI C. In C++ haben Sie es wieder einmal einfacher: Nachdem man einen Aufzählungstyp deklariert hat, kann man das `"enum"` fortan weglassen. Ein Typlabel kann in C++ wie ein Typname verwendet werden. Es gilt aber trotzdem noch, daß gleichlautende Typlabel und Typnamen nicht kollidieren.

2.4.3 Aufzählungen und Zahlen

Naturgemäß kann ein Computer mit Zahlen viel besser umgehen als mit Bezeichnern oder Zeichenfolgen, und so verwundert es nicht, daß Aufzählungstypen intern als Zahlen dargestellt werden. In MaxonC++ ist ein Aufzählungstyp stets 32 Bit breit.

Ein originelles Feature ist, daß Aufzählungsdaten ohne explizite Konvertierung als `"int"`-Werte benutzt werden können:

```
enum Farbe { rot, gruen, blau };

int i = gruen;
```

Der Compiler zählt von Null an, also ist im obigen Beispiel `"rot" 0`, `"gruen" 1` und `"blau" gleich 2`, und die Variable `"i"` wird mit eins initialisiert. In der umgekehrten Richtung muß wieder einmal zwischen C und C++ unterschieden werden: In ANSI C darf ein ganzzahliger Ausdruck an eine Aufzählungs-Variable zugewiesen werden (wenn auch der Compiler eine Warnung ausgeben darf), in C++ geht das leider nicht, z. B.

```
int i = gruen;          // OK
enum Farbe f1 = i; // In C erlaubt, in C++ ERROR
```

Diese Einschränkung in C++ liegt daran, daß im allgemeinen nur wenige Zahlen gültige Werte eines Aufzählungstyps sind. Im Beispiel umfaßt der Typ `"Farbe"` nur drei verschiedene Werte, dargestellt durch die Zahlen `0` bis `2`. In C soll der Programmierer selbst darauf achten, daß er keine andere Zahlenwerte an eine `"Farbe"`-Variable zuweist, während C++ wieder einmal etwas pingeliger ist und derartige Versuche generell verbietet.

Entsprechend sieht es mit der Zuweisungskompatiblität zwischen verschiedenen Aufzählungstypen aus:

```
enum X {x1, x2} x;
enum Y {y1, y2} y = x;          // Nur in C, nicht in C++
```

In allen diesen Beispielen ist in C++ die Typwandlung mit einem Cast zu erzwingen:

```
enum Y {y1, y2} y = (Y) x;   // So geht's auch in C++
```

Manchmal will man, aus welchem Grund auch immer, die Zahlenwerte, die der Compiler den Aufzählungskonstante zuordnet, selbst bestimmen. Auch das ist möglich, indem man in der Typdefinition die gewünschten Werte angibt:

```
enum Farbe {rot = 1, gruen, blau = 4};
```

Wird einem Namen kein Wert zugeordnet, so wie hier `"gruen"`, zählt der Compiler einfach vom letzten vorher angegebenen Wert weiter, so daß `"gruen"` hier mit dem Wert `"2"` belegt wird. Die Konstante kann von jedem nach `"int"` wandelbaren Typ sein, also ein Ganzzahl- oder Aufzählungstyp. Es muß sich natürlich um einen konstanten, also schon zur Compilezeit berechenbaren Wert handeln.

Solche `"enum"`-Definitionen sind die „sauberste" Methode, in C ganzzahlige Konstanten zu deklarieren. Ein Beispiel:

```
enum { N = 100 };

int Vec[N];

void main()
{ for (int i=0; i<N; i++)
  Vec[i] = 0;

// usw.
}
```

Wenn Sie im obigen Programm die Anzahl der Vektorelemente ändern wollen, müssen Sie nur noch die `"enum"`-Deklaration entsprechend verändern. Zwar ist `"N"` formal keine ganze Zahl, sondern hat einen eigenen, namenlosen Aufzählungstyp, aber das macht in der Praxis nichts, denn Aufzählungstypen wie der von `"N"` können überall da eingesetzt werden, wo man auch `"int"` benutzten kann.

Dementsprechend kann man mit Aufzählungsdaten auch genau wie mit `"int"`-Zahlen rechnen:

```
enum E {a1, a2, a3, a4};

void main()
{ enum E e1 = a1;

  int i = e1+a2; // OK

  e1 += 1;          // ERROR
}
```

Der Ausdruck `"e1 += 1"` ist in C++ nicht erlaubt, denn er entspricht bekanntlich `"e1 = e1 + 1"`. Dabei wird die Summe `"e1 + 1"` aber sinnvollerweise als `"int"` ausgewertet, und eine Zuweisung der Form `"enum = int"` ist in C++ bekanntlich verboten.

2.5 Strukturen

2.5.1 Grundlagen

Es ist eine scheinbar triviale, aber in Wirklichkeit geradezu revolutionäre Idee, Daten, die zusammengehören, auch formal in einem Datentyp zusammenzufassen. Zum Beispiel besteht eine komplexe Zahl aus einem Realteil und einem Imaginärteil, die beide jeweils durch eine Fließkommazahl dargestellt werden können. Nun wäre es unschön, in einem Programm für jede komplexe Zahl gleich zwei Variablen zu deklarieren. Statt dessen definiert man sich einen Verbund-Datentyp namens `"Komplex"` (oder so ähnlich), der aus zwei Fließkommazahlen besteht. Das könnte man notfalls auch noch mit Vektoren realisieren:

```
typedef double Komplex[2];   // Element  [0] für Realteil,
                             //          [1] Imaginärteil
Komplex x1 = {1,0}, x2 = {2,2};
```

Aber hier haben wir ja auch das Glück, daß Real- und Imaginärteil mit demselben Datentyp, nämlich `"double"`, dargestellt werden können. Wenn wir aber Personendaten abspeichern wollen, und zwar Vorname (`"char[20]"`), Nachname (`"char[30]"`) und Geburtsjahr (`"int"`), geht das schon nicht mehr, denn naturgemäß haben alle Elemente eines Vektors den gleichen Typ. Genau hier setzt das Konzept der Datenstrukturen ein, das übrigens auch die Grundlage für die objektorientierte Programmierung darstellt.

Eine Struktur ist ein Datentyp, der Einzeldaten beliebiger Typen zusammenfaßt. Die Elemente einer Struktur werden nicht wie bei Vektoren mit einer Nummer, sondern mit einem Namen bezeichnet. Eine Struktur für die oben erwähnten Personendaten könnte man so deklarieren:

```
struct Person
{ char Vorname[20], Nachname[30];
  int Geburtsjahr;
};
```

Jetzt ist dem Compiler der Datentyp `"struct Person"` bekannt, und wir können uns Variablen deklarieren:

```
struct Person P1, P2;
struct Person *P_Zeiger = &P1;
```

und so weiter. Jedes Objekt des Typs `"struct Person"` besteht aus drei Datenelementen, die man in C++ auch als „Member" bezeichnet. Member werden formal genau wie Variablen deklariert. Der Zugriff auf einen Member erfolgt, indem man an einen geeigneten Ausdruck, z. B. einen Variablennamen, einen Punkt `"."` und den Namen des Members anhängt:

```
void main()
{ struct Person P;

  cout « "Bitte geben Sie ein:\n";
```

```
  cout « "Vorname:    "; cin » P.Vorname;
  cout « "Nachname:   "; cin » P.Nachname;
  cout « "Jahr:       "; cin » P.Geburtsjahr;
  cout « "\n";

  if (P.Geburtsjahr > 1992 || P.Geburtsjahr < 1880)
    cout « "Das Jahr ist offensichtlich nicht richtig!\n";
  else
  { int Alter = 1992 - P.Geburtsjahr;

    cout « "Hallo " « P.Vorname « " " « P.Nachname « ", Du bist " «
Alter «
              " Jahre alt.\n";
  }
}
```

Der Punkt `"."` zählt, genau wie ein Index oder eine Argumentliste, zu den Postfix-Operatoren und damit zur höchsten Bindungsklasse. Deshalb ist

```
*x.y
```

äquivalent zu

```
*(x.y)
```

und nicht etwa zu

```
(*x).y
```

Letzteres tritt übrigens so oft auf, daß es dafür eine Abkürzung gibt:

```
x->y
```

Um das ein wenig zu illustrieren, folgt auch prompt ein Beispiel:

```
struct S
{ char c1, *c2; }; // S hat zwei Member: char c1 und char *c2

void main()
{ struct S s1,s2, *sp;

  // ...

  sp = &s1;                // sp zeigt auf s1

  (*sp).c1 = *(s2.c2); // Ist äquivalent zu:
  sp->c1 = *s2.c2;
}
```

`"sp->c1"` ist der Member `"c1"` in der Struktur, auf die der Zeiger `"sp"` verweist, während `"*s2.c2"` das Zeichen ist, auf das der Member `"c2"` der Struktur `"s2"` zeigt.

2.5.2 Definitionen und Deklarationen

Die Deklaration einer Struktur beginnt, wie Sie sicher schon bemerkt haben, immer mit dem Wortsymbol `"struct"`. Anschließend ist alles optional, nur die Reihenfolge ist wichtig:

1. Strukturname, auch „Typlabel" genannt
2. Typdefinition, also die Deklaration der Member
3. Variablendeklarationen

Am Ende muß immer ein Semikolon stehen. Gehen wir nun halbwegs systematisch vor:

```
struct;
```

Diese Zeile ist ausnahmsweise nicht erlaubt, denn mindestens einer der drei oben angeführten Punkte muß folgen.

```
struct Name;
```

Diese Deklaration teilt dem Compiler mit, daß es einen Strukturtyp namens `"Name"` gibt. Die eigentliche Typdefinition kann später noch folgen, muß aber nicht. Nach einer solchen Mini-Deklaration kann man mit dem Typ `"struct Name"` nur solche Dinge tun, bei denen der Compiler nichts näheres über `"struct Name"` wissen muß. Man kann Zeiger auf diesen Typ deklarieren, z. B. `"struct Name *p;"`, aber keine Objekte dieses Typs selbst (`"struct Name s;"`). Man darf Funktionen deklarieren, die `"struct Name"` zurückgeben, aber keine Funktionen mit Parametern dieses Typs. Als kleines Extra darf man Objekte dieses Typs als `"extern"` deklarieren und somit importieren.

```
struct Name { int Memb1; char Memb2; };
```

Dies ist wohl die gebräuchlichste Form der Strukturdefinition. Jede Struktur darf beliebig oft deklariert werden (also so etwas wie `"struct Name;"`), aber höchstens einmal definiert werden. Man darf sie auch nicht zweimal absolut identisch definieren. Nach der Definition weiß der Compiler alles über den Strukturtyp, nämlich die Namen und Typen seiner Member und vor allem den Speicherplatzbedarf der Struktur. Die Deklaration

```
struct { int Memb1; char Memb2; };
```

ist zwar rein syntaktisch erlaubt, aber wenig sinnvoll. Hier wird ein Datentyp definiert, aber man kann nichts damit anfangen, denn er hat keinen Namen. Bei Strukturtypen zählt übrigens Namensgleichheit, d. h. zwei Strukturtypen mit absolut identischen Membern sind für den Compiler völlig unterschiedliche Datentypen.

```
struct Name objekt1, vektor[20], *zeiger;
```

Hier werden drei Variablen auf gewohnte Weise deklariert. Der Typ `"struct Name"` kann allgemein wie ein Standardtyp oder ein `"typedef"`-Bezeichner benutzt werden. Für die Deklarationen von `"objekt1"` und `"vektor[20]"` muß der Strukturtyp bereits definiert sein, die Pointervariable `"*zeiger"` kann auch schon vor der endgültigen Definition von `"struct Name"` erfolgen.

Man kann Strukturdefinition und Variablendeklaration auch kombinieren:

```
struct Name { int Memb1; char Memb2; } objekt1;
```

Diese Zeile deklariert gleichzeitig den Strukturtyp und eine Variable dieses Typs. Dabei kann man aber auch den Strukturnamen weglassen:

```
struct { int Memb1; char Memb2; } objekt1;
```

Auch hier werden ein Strukturtyp und eine Variable deklariert, aber der Strukturtyp hat keinen Namen und kann deshalb nie wieder für weitere Deklarationen benutzt werden.

Wenn Ihnen das andauernde `"struct"` auf die Nerven geht, können Sie eine Struktur auch so deklarieren:

```
typedef struct Name { int i; } TypName;
```

Fortan können Sie den Typ wahlweise `"struct Name"` oder einfach „TypName" nennen. Das kann man auch so weit treiben, daß die Struktur selbst keinen Typlabel mehr hat:

```
typedef struct { int i; } TypName;
```

Offenbar gibt es viele Ästheten oder Schreibfaule, die von Deklarationen wie der obigen reichlich Gebrauch machen. Deshalb sah man bei der Einführung von C++ Handlungs-

bedarf und legte fest, daß ein Typlabel in C++ wie ein `"typedef"`-Name benutzt werden kann, sofern es dabei nicht zu Kollisionen mit anderen Bezeichnern kommt:

```
struct Name { int i; };

Name objekt1;              // Nur in C++ erlaubt
struct Name objekt2;    // In C nötig, in C++ erlaubt
```

Die Deklaration der Member innerhalb einer Strukturdefinition ist formal identisch mit einer Variablendeklaration, außer daß man hier natürlich keine Speicherklassen verwenden kann (okay okay, in C++ können Member als `"static"` deklariert werden, aber das gehört hier noch nicht hin). Also können Member natürlich auch selbst wieder Strukturen sein, wie im folgenden Beispiel:

```
struct Datum
{ short int tag, monat, jahr; };

struct Name
{ char vorname[20], nachname[30];  };

struct Person
{ struct Name name;
  struct Datum geburt;
};

struct Person P1, P2, P3; // "struct" kann hier in C++
                                  // auch weggelassen werden
```

```
#include <string.h>   // Immer Ärger mit dem Stringshandling von C

void main()
{ P1.geburt.monat = 6;
  strcpy(P1.name.vorname,"Helmut");

  P2 = P1;                  // kopiert ganze Struktur
  P3.name = P1.name; // kopiert nur eine "Unterstruktur"

  // usw.
}
```

An diesem Beispiel sehen Sie auch, daß eine `"struct"` in C ein „echter" Datentyp ist, den man mit einer simplen `"="`-Zuweisung kopieren kann, während das bei Vektoren bekanntlich etwas krampfig ist (sieht man hier an `"strcpy"`). Man kann auch Strukturen direkt an Funktionen übergeben und nicht etwa bloß Zeiger darauf wie bei den Vektoren.

2.5.3 Initialisierung

Eine Struktur kann mit einer Struktur gleichen Typs initialisiert werden - einleuchtend, denn man kann solche Strukturen ja auch normal einander zuweisen. Daneben gibt es wie bei Vektoren die Möglichkeit einer Listeninitialisierung. Das ist nur bei Strukturen erlaubt, die keine Basisklassen, Konstruktoren oder private Member haben, aber da das alles Features sind, die in diesem Handbuch erst später behandelt werden, braucht Sie das vorerst nicht zu kümmern. Jedenfalls sind die Initialisierungswerte für die einzelnen Member in der richtigen Reihenfolge anzugeben und mit geschweiften Klammern `"{ }"` einzuschließen:

```
struct Anschrift
{ char Name[40], Anschrift[30];
  unsigned short PLZ;
  char Ort[25];
};

Anschrift A1 = {"Helmut Kohl",
                "Bundeskanzleramt",
                5300, "Bonn" };
```

Wenn man zu wenige Daten angibt, werden die übrigen Member mit Nullen initialisiert; bei zu vielen Daten beschwert sich der Compiler.

Bei verschachtelten Strukturen haben Sie wieder, wie bei mehrdimensionalen Vektoren, die Wahl, ob Sie Listen ineinander verschachteln oder nicht:

```
struct Datum
{ short int tag, monat, jahr; };

struct Name
{ char vorname[20], nachname[30];  };
```

```
struct Person
{ Name name;
  Datum geburt;
};

Person    P1 = { { "Karl", "Baumann" }, {26, 7, 1931} },
            P2 = { "Hein", "vom Deich", 24, 5, 66 };
```

Dasselbe gilt bei Vektoren von Strukturen:

```
struct S
{ char Name[20];
  int Jahr;
};

S Liste1[ ] = { {"Djikstra", 1940 }, {"Seville", 1976},
                    {"Davidson", 1903 } };

S Liste2[ ] = { "Dingenskirchen", 1952, "Werwohl", 1968,
                    "Nocheiner", 1967,"Schmuddel", 1972 };
```

2.5.4 Gültigkeitsbereiche und Scope-Regeln

Für die Typlabel von Strukturen gilt im Prinzip das gleiche wie bei `"enum"`-Typen: Sie haben einen eigenen Gültigkeitsbereich innerhalb jedes anderen Scopes. Dadurch sind Deklarationen wie

```
struct X X;
```

möglich: `"X"` ist der Name eines Objekts und `"struct X"` ein Typname, so daß Verwechslungen prinzipiell ausgeschlossen sind.

Aber jetzt kommt der Hammer: Da Strukturen und Klassen (was fast dasselbe ist) das zentrale Konzept der objektorientierten Features von C++ sind, hat man hier in C++ einige gravierende Änderungen gegenüber ANSI C vorgenommen. Zunächst einmal darf man, wie bereits unter 2.5.2 angedeutet, das Schlüsselwort `"struct"` (und auch `"class"` und `"union"`, dazu später mehr) weglassen und das Typlabel direkt als Typnamen verwenden, natürlich nur dann, wenn keine Kollisionen auftreten:

```
struct X { int x; };

X V;                // OK
struct X W;         // Das auch
X X;                // Sogar das geht!
X Y;                // Error
struct X Z;         // So ist's jetzt richtig
```

Ein vernünftiger Programmierer wird normalerweise Kollisionen von Typ- und Variablennamen vermeiden. Die Entwickler des Amiga-Betriebssystems gehörten offensichtlich nicht dazu, denn in den offiziellen Amiga-System-Includefiles findet man etliche derartige Kollisionen, z. B. muß man bei der

`"struct DateStamp"` aus *„libraries/dos.h"* das `"struct"` immer dazusetzen, weil in *„clib/dos_protos.h"* eine Funktion gleichen Namens deklariert wird... wirklich, ausgesprochen sauberer Stil!

Wirkliche Probleme gibt es mit der Kompatibilität zwischen C und C++ aber bei einem anderen Feature, den struktureigenen Gültigkeitsbereichen. Zu jeder Struktur gehört ein eigener Scope für die Namen der Member. Das bedeutet, daß die folgenden Deklarationen

```
struct S1 { int x; };
struct S2 { char x; };
double x;
```

nicht kollidieren: das erste `"x"` liegt im Gültigkeitsbereich von `"S1"`, das zweite im Scope von `"S2"` und das dritte auf Dateiebene. Es ist an jeder Stelle des Programms klar, welcher von den drei Bezeichnern mit `"x"` gemeint ist. Übrigens war das vor ANSI C nicht so direkt klar, denn man hatte ganz einfach vergessen, dies in den allerersten C-Spezifikationen festzulegen. Deshalb könnte es durchaus noch uralte C-Compiler geben, die obiges Programm nicht akzeptieren. Aber das kann Ihnen ja egal sein, denn Sie haben schließlich viel Geld für einen C++- und ANSI-C-Compiler hingeblättert und sind deshalb an derartigen Anachronismen nicht mehr interessiert.

Ach ja, ich sollte vielleicht mal langsam zur Sache kommen und verraten, wo denn nun hier der Unterschied zwischen C und C++ liegt. Also, weil Strukturen ja das Grundkonzept für die objektorientierte Programmierung darstellen, hat man ihnen in C++ einen ganzen Scope spendiert, während in ANSI C nur die Membernamen im Scope der Struktur liegen. Der Sinn dieser kryptischen Aussage wird wahrscheinlich am ehesten an einem Beispiel klar:

```
struct S1
{  int i;
   struct S2 *s2zeiger;     // VORSICHT!!!
};

struct S2
{  int j; };
```

Für den C-Compiler ist hier alles klar: Die Namen `"i"` und `"s2zeiger"` gehören in den Scope von `"S1"`, aber das Typlabel `"S2"`, das ja kein Membername, sondern eben ein Typlabel ist, gehört auf Dateiebene. Damit ist klar, daß der Member `"s2zeiger"` auf den Strukturtyp `"S2"` zeigt, der gleich anschließend definiert wird, und so ist das Ergebnis das erwartete.

In C++ sieht das anders aus: Hier kann man innerhalb einer Struktur nicht nur Member, sondern auch (aber das gehört schon zu den objektorientierten Features) Funktionen, Variablen oder eben auch Datentypen deklarieren, die dann lokal zur Struktur gehören und von außen normalerweise nicht sichtbar sind. Nun kommt also ein Compiler an und stellt fest, daß innerhalb von `"S1"` ein bisher völlig unbekannter Datentyp `"struct S2"` benutzt wird. Da der Datentyp neu ist, handelt es sich offenbar um eine Deklaration, und das Verhängnis nimmt seinen Lauf. Der Compiler nimmt gemäß der C++-Sprachdefinition an, daß es sich um einen zu `"S1"` lokalen Datentypen handeln muß. Wenn dann irgendwann später auf Dateiebene der Typ `"struct S2"` definiert ist, denkt der

Compiler nicht im Traum daran, daß dieses `"S2"` und das aus `"S1"` irgend etwas miteinander zu tun haben könnten. Die Folge: Der Member `"s2zeiger"` aus `"S1"` zeigt auf einen nicht definierten Typ, und

```
S1 s;
s.s2zeiger->j = 0;
```

führen zu einer Fehlermeldung, denn `"j"` ist ja Member des globalen `"S2"` und nicht etwa des lokalen.

Deshalb muß man in C++ stets folgendermaßen deklarieren:

```
struct S2;

struct S1
{ int i;
  struct S2 *s2zeiger; // Jetzt OK
};

struct S2
{ int j; };
```

Da `"S2"` jetzt zu dem Zeitpunkt, wo es in `"S1"` benutzt wird, bekannt ist, braucht der Compiler auch nicht mehr zu unterstellen, daß es sich um einen lokalen Datentyp handelt. Es gilt also wieder die Daumenregel, daß man in C++ alles erst möglichst sauber deklarieren muß, bevor man es benutzen kann.

Sie halten das hier diskutierte Thema für etwas esotherisch? Von wegen! Die Amiga-Standardincludes machen ausgiebig von solchen Pointereien zwischen Strukturen Gebrauch! Watt nu? Soll man bei jeder Benutzung dieser Includes vorher erst mit `"#pragma -"` in den C-Modus schalten, oder was?

Keine Panik: MaxonC++ gehört zu den relativ schlauen Compilern. Wird innerhalb einer Struktur ein anderer Strukturtyp deklariert und benutzt, aber nicht wirklich definiert, und außerhalb dieser Struktur ein Typ gleichen Namens definiert, so betrachtet MaxonC++ diese beiden Typen als identisch. Also schluckt MaxonC++ das Beispiel auch ohne vorherige Deklaration von `"struct S2"`. Durch dieses Feature gerät MaxonC++ natürlich in Konflikt mit dem gültigen Standard, und es kann passieren, daß unter MaxonC++ entwickelte Programme sich mit anderen Compilern nicht übersetzen lassen, aber andererseits ist dieses Feature durch Stroustrup abgesegnet (im „Anachronismen"-Kapitel des „Annotated C++ Reference Manual" von 1989, Abschnitt 18.3.5), und so erschien es uns sinnvoll, es zu implementieren.

2.5.5 Unionen

Unionen sind ein kleines Feature, mit dem man manchmal etwas Speicherplatz sparen kann. In C++ sind sie eigentlich überholt, denn Polymorphie läßt sich viel eleganter auf objektorientiertem Wege durch Vererbung erzielen. Aber wie so manche Altlast von C wurden auch Unionen in C++ aufge-

nommen, um die heilige Kuh namens „Kompatiblität" nicht ohne Not zu schlachten, und ungeachtet aller Vorbehalte sollen sie auch hier erwähnt werden.

Syntaktisch werden Unionen genau wie Strukturen behandelt, nur daß das Schlüsselwort `"struct"` durch `"union"` zu ersetzen ist. Der Trick ist dabei, daß alle Member einer union denselben Speicher belegen und man deshalb immer nur einen davon benutzen kann,

z. B.

```
union U { int Nummer; char *Name; };

U u1, u2;

void main()
{ u1.Nummer = 42;
  u2.Name = "Frood";
}
```

In diesem Beispiel muß also irgendwie inhärent klar sein, daß bei `"u1"` nur der Member `"Nummer"` und bei `"u2"` ausschließlich `"Name"` benutzt werden. Die jeweils anderen Member haben undefinierte Werte, und beim Versuch, sie auch noch zu initialisieren, werden die ersten Definitionen wieder überschrieben, denn `"Nummer"` und `"Name"` einer Struktur liegen ja im selben Speicher.

Damit dürfte ansatzweise deutlich geworden sein, daß man mit Unionen Speicherplatz sparen kann, wenn man von mehreren Membern immer nur jeweils einen pro Datenobjekt benötigt. Nehmen wir einmal an, wir wollen Daten von verschiedenen Computern abspeichern. Bei allen Computern wollen wir die Bezeichnung und die Speicherkapazität abspeichern, aber bei Amigas sollte man angeben, wieviel vom RAM CHIP-Mem ist, bei MS-DOSen sollte der Prozessortyp nicht verschwiegen werden, und bei ATARI-Computern braucht man unbedingt einen String mit einem Kommentar, was wir davon halten. Also entwerfen wir folgende Datentypen:

```
enum Typ {Amiga, MessyDOS, Atari};

struct Rechner
{ char Name[20];
  int kBytes;
  enum Typ wasistes;
  union
  { int ChipMem;
  char Prozessor[6];
    char *Kommentar;
  } Spezial;
};
```

Man beachte, daß wir hier einen namenlosen `"union"`-Typen innerhalb der Struktur definieren. Man hätte die Unionsdefinition auch herausziehen, auf Dateiebene mit einem Typlabel sauber definieren und dann innerhalb der Struktur benutzen können, aber so geht's natürlich auch. Anhand

des Members "wasistes" kann man jedenfalls jedem Datenobjekt ansehen, welcher Member der Union aktuell ist, z. B. so:

```
#include <stream.h>
#include <string.h>

void Ausgabe(Rechner &r)
{  cout « "Bezeichnung:   " « r.Name « "\n";
   cout « "Speicher:      " « r.kBytes « " kBytes\n";

   switch (r.wasistes)
   {  case Amiga:
         cout « "(davon " « r.Spezial.ChipMem « " kByte CHIP)\n";
         break;
      case MessyDOS:
         cout « "Prozessor:     " « r.Spezial.Prozessor « "\n";
         break;
      case Atari:
         cout « "Unsere Meinung dazu: "«r.Spezial.Kommentar«"\n";
         break;
   }
   cout « "\n";
}
```

Auch Unionen können mit „Listen" initialisiert werden, allerdings kann die „Liste" hier nur genau einen Initialisierungswert enthalten, und zwar für den ersten Member der Union:

```
void main()
{  RechnerR1 = { "Amiga 500", 3*1024, Amiga, { 512 } },
      R2 = { "ST", 1024, Atari },
      R3 = { "Taiwan Trashy 0815", 640, MessyDOS };

   // Bei "R2" und "R3" muß die "Spezial"-Information
   // nachträglich initialisiert werden:
   R2.Spezial.Kommentar = "Ach neee, muß ja nicht sein...";
   strcpy (R3.Spezial.Prozessor,"486sx");   // Hihihi...

   Ausgabe(R1);
   Ausgabe(R2);
   Ausgabe(R3);
}
```

Wo hier die Speicherplatzersparnis liegt? Eine Union braucht so viel Speicher wie ihr größter Member. Das "int" beim Amiga und "char*" beim Atari belegen jeweils 4 Bytes, während der String bei MessyDOS 6 Zeichen lang ist. Also ist die ganze Union 6 Bytes lang, was einer Ersparnis von 8 Bytes entspricht.

Zu guter letzt sei hier noch ein etwas abgefahrenes Feature von C++ erwähnt: namenlose Unionen. Wird eine Union ohne Typlabel einfach nur definiert, ohne daß eine Variablendeklaration o. ä. folgt, ist dies in Wirklichkeit eine Deklaration mehrerer Variablen, die alle an der gleichen Adresse liegen:

```
#include <stream.h>

static union
{ int i;
  char c;
  double d;
};

// Die drei globalen Variablen "i", "c" und "d" liegen
// alle an der gleichen Adresse! Der Beweis:

void main()
{ cout « int(&i) « "\n";
  cout « int(&c) « "\n";
  cout « int(&d) « "\n";
}
```

Das `"static"` ist hier aus rein formalen Gründen nötig, weil die Sprachdefinition das fordert. Eine solche Deklaration ist z. B. dann sinnvoll, wenn ein Programm mehrere große Vektoren hat, aber immer nur höchstens einen davon braucht. So etwas dürfte aber doch ziemlich selten vorkommen.

Namenlose Unions sind eher innerhalb von Strukturen nützlich:

```
enum Typ {Amiga, MessyDOS, Atari};

struct Rechner
{ char Name[20];
  int kBytes;
  enum Typ wasistes;
  union
  { int ChipMem;
    char Prozessor[6];
    char *Kommentar;
  };
};

Rechner R1;
```

Jetzt liegen die drei Member `"ChipMem"`, `"Prozessor"` und `"Kommentar"` nicht mehr in einer Union verborgen, sondern direkt in der Struktur `"Rechner"`. Also kann man sich auch das ewige `"Spezial"` sparen, z. B.

```
R1.Kommentar = "Ei der daus!".
```

Die Struktur `"Rechner"` sieht also noch genau so aus wie vorher, nur daß der Dummy-Member `"Spezial"` entfällt und dessen Member direkt in der Struktur stehen, und zwar auch wieder im selben Speicherbereich, der natürlich nicht mit dem von `"Name"`, `"kBytes"` oder `"wasistes"` kollidiert. Bemerkenswerterweise sind auch die Scope-Regeln dem angepaßt, d. h. die Bezeichner der Member der namenlosen Union könnten mit gleichlautenden Bezeichnern in der überliegenden Struktur zusammenrappeln, und das ist so ja auch sinnvoll.

Der Vollständigkeit halber sei hier schon darauf verwiesen, daß die meisten objektorientierten Features bei Unionen nicht unterstützt werden: Eine Union kann keine Basisklassen haben und keine Member, die einen Konstruktor oder Destruktor besitzen.

2.5.6 Bitfelder

Auch Bitfelder sind so ein Low-Level-Sprachkonstrukt, mit dem man bisweilen ein paar Byte sparen kann. Bekanntlich bietet C dem Programmierer ganzzahlige Datentypen in verschiedenen, für den jeweiligen Rechner typischen Breiten. Kein heute existierernder, ernstzunehmender Rechner unterstützt jedoch Zahlen von weniger als acht Bit, also einem Byte. Das liegt daran, daß der Zugriff auf den Speicher immer nur byteweise erfolgen kann, während das Lesen oder sogar Schreiben von einzelnen Bits einen recht hohen Aufwand darstellt.

Oft stellen 8-Bit-Werte aber schon eine Verschwendung dar. Ein typisches Beispiel sind Flags, also einfache boolesche Werte, die ohnehin nur die Werte `"0"` und `"1"` annehmen können, wofür ein Bit vollkommen reicht. Manchmal will man auch mehrere Zahlen, deren Wertebereich stark begrenzt ist, auf engstem Raum abspeichern, etwa in einem Langwort (32 Bit) vier Zahlen mit 20, 10 und zweimal je einem Bit unterbringen - die Alternative wäre eine Struktur aus einem `"int"`, einem `"short int"` und zwei `"char"`, die genau doppelt so viel Speicher benötigt.

Formal ist ein Bitfeld eine Struktur, bei der hinter jedem Member die Anzahl der benötigten Bits anzugeben ist, z. B.

```
struct Beispiel1
{ int a: 20, b: 10;
  unsigned int c: 1, d: 1;
};
```

Die Member eines Bitfelds dürfen ausschließlich ganzzahlige Datentypen haben. Es ist nicht erlaubt, Bitfelder mit normalen Strukturen zu vermischen, also für einige Member Bitbreiten anzugeben und für andere nicht. Ein Bitfeld kann nicht mit einer Elementliste initialisiert werden. Überhaupt ist vieles bei Bitfeldern implementationsabhängig und weder vom ANSI-C-Standard noch in der gängigen C++-Literatur verbindlich definiert. Der Zugriff auf einen Bitfeld-Member geschieht syntaktisch wie bei einer gewöhnlichen Struktur - aber Vorsicht, der Rechner benötigt dazu einen erheblich höheren Aufwand als bei einem gewöhnlichen Strukturzugriff. Das macht die Programme dann sowohl länger als auch langsamer. Deshalb sollte man es sich immer sehr genau überlegen, ob man wirklich Bitfelder einsetzen sollte. Oft wird dadurch der Programmcode dermaßen aufgebläht, daß die Speicherplatzersparnis bei den Daten wieder „ausgeglichen" wird, einmal ganz zu schweigen von der erheblich langsameren Zugriffsgeschwindigkeit auf die Daten!

Es ist erlaubt, hier namen- und typlose Member zu definieren:

```
struct BF2
{ int a: 3;
  :2;
  int b: 4;
};
```

Dadurch werden mitten zwischen `"a"` und `"b"` zwei Bits freigehalten. So etwas braucht man manchmal, wenn man ein vorgegebenes Layout übernehmen muß. Apropos Layout: MaxonC++ belegt die Bits von links nach rechts. Im obigen Beispiel belegt die Struktur `"BF2"` zwei Bytes, wobei die Bits 5 bis 7 des ersten Bytes `"a"` enthalten, die Bits 3 und 4 desselben Bytes unbelegt bleiben und `"b"` in dem drei untersten Bits des ersten sowie dem obersten Bit des zweiten Bytes liegt. Ein namenloser Member der Breite Null belegt nicht etwa Null Bits, sondern bewirkt eine Ausrichtung auf die nächste Bytegrenze:

```
struct BF3
{ int a: 3;
  :0;       // Macht das erste Byte "voll"
  int b: 8;
};
```

Dadurch liegt hier `"b"` genau in einem Byte, so daß ein Zugriff auf `"b"` zufällig keinen zusätzlichen Overhead erfordert.

Es ist nicht möglich, direkt oder indirekt oder wie auch immer die Adresse eines Bitfeld-Members zu nehmen:

```
struct S1 { int flag1:1, flag2:2 };

S1 s1;

int *p = &s1.flag1;      // ERROR
int &r = s1.flag2;       // ERROR
```

Generell kann ich nur raten, möglichst die Pfoten von Bitfeldern zu lassen, meist lohnt es sich ganz einfach nicht.

2.6 Dynamisch organisierte Datenstrukturen

2.6.1 Die Idee

Bisher haben wir alle Variablen, die ein Programm braucht, schon beim Schreiben des Programms deklariert. In der Praxis ist das allerdings keineswegs ausreichend, denn oft ist vorher nicht abzusehen, wieviel Daten das Programm zur Laufzeit benötigen wird. Nehmen wir an, Sie schreiben einen Editor und haben dabei eine Datenstruktur namens `"struct Zeile"`, die jeweils eine Zeile des Texts repräsentiert. Nun wissen Sie aber natürlich nicht, wie lang der Text sein wird, den der Benutzer einmal eingeben wird. Und genau hier kann man oft Hobby- und echte Programmierer unterscheiden: der Hobbyprogrammierer legt sich einen Vektor von, sagen wir einmal, zehntausend „Zeile"-Strukturen an und geht davon aus, daß der Benutzer nicht mehr als eben jene zehntausend Textzeilen eingeben wird, falls doch, hat er eben Pech gehabt. Andererseits belegt der Editor dann natürlich immer konstant einige Megabytes, aber das fällt ja nicht auf, schließlich hat man ja sowieso nur ein Programm gleichzeitig laufen. Auf dem Amiga geht das natürlich nicht, denn der Amiga-User wird sich „freuen", wenn ein Task den gesamten Speicher belegt.

Die einzig professionelle Methode, einen Editor zu programmieren, ist die benötigten Datenobjekte für Zeilen, Zeichen usw. bei Bedarf dynamisch zu erzeugen und wieder zu löschen, wenn sie nicht mehr benötigt werden, weil z. B. der Benutzer etwas aus dem Text gelöscht hat. Das beste Beispiel hierfür ist der in MaxonC++ verwendete Editor *EDWARD*. Und um solche Techniken soll es in diesem Abschnitt gehen, wobei wir auch einen eleganten Übergang zur objektorientierten Programmierung erhalten werden. Vorher sollten Sie sich allerdings vergewissern, daß Sie die Sache mit den Pointern auch wirklich verstanden haben, denn sonst wird es sehr, sehr schwer!

2.6.2 „new" und „delete"

Es soll also davon die Rede sein, wie man Datenobjekte zur Laufzeit des Programms dynamisch erzeugt und später auch wieder löscht. Sie waren es bisher gewohnt, daß ein Datenobjekt mit einer Variablen identisch ist und deshalb immer einen Namen hat. Ein dynamisch erzeugtes (man sagt neudeutsch auch „alloziertes") Objekt hat natürlich keinen Namen, denn dann müßte man es ja irgendwie im Programmtext deklarieren und hätte nichts gewonnen. Es liegt also nur irgendwo im Speicher 'rum und hat deshalb eine Adresse, und Adressen verarbeitet man in C mit Zeigern.

Rein praktisch erzeugt man in C++ ein neues Datenobjekt mit einem `"new"`-Ausdruck. Das Schlüsselwort `"new"`, gefolgt von einer Typbezeichnung, richtet an geeigneter Stelle im Speicher ein neues Datenobjekt dieses Typs ein und liefert als Ergebnis einen Zeiger darauf, z. B.

```
int *ip = new int;
```

Der Zeiger `"ip"` verweist jetzt also auf ein Datenobjekt `"*ip"` des Typs `"int"`, das vorher noch nicht existierte. Aber Vorsicht, es kann durchaus sein, daß nicht genug Speicher zur Verfügung stand! In diesem Fall liefert `"new"` den Wert `0`. Deshalb gehört hinter jeden `"new"`-Aufruf eigentlich eine `"if"`-Abfrage, die feststellt, ob auch wirklich Speicher reserviert wurde. Viele Programmierer sind leider zu faul dazu und vertrauen ganz einfach darauf, daß `"new"` klappt.

Aber auch für solche Leute gibt es in C++ ein nettes Gimmick: Im Include-File `"<new.h>"` wird eine Funktion namens `"set_new_handler"` deklariert, die als Argument eine `"void"`-Funktion ohne Parameter erwartet. Diese Funktion wird fortan automatisch aufgerufen, wenn eine Speicherreservierung mit `"new"` fehlschlug, und man kann in dieser Funktion versuchen, die Situation zu retten, oder doch wenigstens das Programm mit `"exit"` abbrechen.

Zum Löschen eines mit `"new"` erzeugten Objekts dient die `"delete"`-Anweisung:

```
delete ip;
```

Nun ist der Wert von `"ip"` laut Standard undefiniert und der Speicherbereich, in dem vorher `"*ip"` lag, wieder als unbelegt und frei definiert. In MaxonC++ zeigt `"ip"` nach dem `"delete"` übrigens immer noch auf dieselbe Adresse, aber es kann durchaus Implementationen geben, bei denen `"ip"` dabei auf `"0"` oder einen anderen Wert gesetzt wird. Wenn man versucht, ein Objekt zu löschen, das nicht mit `"new"` erzeugt wurde, steigt das Programm aus. MaxonC++ löscht am Programmende alle dynamischen Daten, die noch existieren.

Laut C++-Standard ist ein dynamisches Objekt nach seiner Erzeugung absolut undefiniert. MaxonC++ initialisiert den Speicher mit lauter Nullen, aber darauf kann man sich nicht generell verlassen.

Man kann Datenobjekte beliebiger Typen mit `"new"` erzeugen - mit einer Ausnahme, nämlich Referenzen. `"new int&"` liefert also einen Fehler, denn Referenzen sind in C++ strenggenommen keine Objekte, oder zumindest Objekte zweiter Klasse. Natürlich darf man auch keine Strukturen erzeugen, die noch nicht definiert sind, denn dann weiß der Compiler ja noch nicht, wieviel Speicherplatz dafür benötigt wird.

2.6.3 Dynamisch erzeugte Vektoren

Vielleicht fragen Sie sich jetzt schon, was der Quatsch soll. Eine Zeile wie `"int *ip = new int"` ist in der Tat ziemlich nutzlos, denn es kommt doch wohl auf dasselbe heraus, ob man eine `"int"`-Variable oder einen Zeiger darauf deklariert. Interessant werden dynamisch generierte Objekte erst dann, wenn man für eine Pointervariable jede Menge dynamischer Objekte alloziert und diese Anzahl vor der Ausführung des Programms noch nicht bekannt ist. Am einfachsten geht das in C++ über Vektoren, denn natürlich lassen sich auch solche Objekte dynamisch erzeugen:

```
void f()
{ char *cp;

  cp = new char[1000];
}
```

Man beachte, daß in C ein Vektor mit einem Pointer auf sein erstes Element identisch ist. Deshalb deklarieren wir hier `"cp"` als einfachen Zeiger auf `"char"` und nicht als Zeiger auf einen `"char"`-Vektor.

Nun ist auch das nicht so furchtbar schlau, denn man hätte hier einen entsprechend großen Zeichenvektor direkt deklarieren und sich die Sache mit dem Zeiger sparen können (einmal davon abgesehen, daß das hier erzeugte Objekt existiert, bis es gelöscht wird, also auch über die Ausführung der Funktion `"f"` hinaus). Praktischerweise akzeptiert C++ an dieser Stelle auch einen beliebigen variablen Ausdruck als Vektorgröße:

```
void g(int groesse)
{ char *cp = new char[groesse];
}
```

Na, ist das was? Das Programm kann jetzt erst einmal feststellen, wieviel Speicher es wohl brauchen wird, und dann einen entsprechend großen Vektor einrichten. Es gibt allerdings eine kleine Einschränkung: Bei mehrdimensionalen Vektoren darf ausschließlich der erste Indexbereich variabel sein:

```
void h(int i, int j)
{ new double[i][j];        // FALSCH
  new double[10][j];     // FALSCH
```

```
   new double[i][10];    // OK
}
```

Der Grund ist ganz einfach der, daß ein C-Programm beim Zugriff auf ein Vektorelement nicht wissen muß, wie viele Elemente der Vektor hat (der Programmierer soll gefälligst selbst darauf achten, daß er die Vektorgrenzen nicht überschreitet), wohl aber die Größe eines Vektorelements benötigt, denn alle Vektorelemente liegen im Prinzip hintereinander im Speicher, so daß man die Adresse des n-ten Elements aus der Vektoranfangsadresse erhält, indem man dazu das n-fache der Elementgröße addiert. Also stellt es für das Programm kein Problem dar, auf ein Element eines „beliebig großen Vektors von zehnelementigen double-Vektoren" zuzugreifen, denn ein „zehnelementiger double-Vektor" ist ganz einfach so groß wie zehn `"double"`-Zahlen. Umgekehrt kann er aber nicht auf ein Element eines „zehnelementigen Vektors von beliebig großen Vektoren von irgendwas" zugreifen, denn er weiß ohne weiteres nicht, wie groß ein `"double[j]"` ist und kann folglich mit Vektoren dieses Typs nichts anfangen.

Wie löscht man nun einen solchen Vektor variabler Größe wieder? Die Laufzeitbibliothek des C++-Systems merkt sich beim Allozieren eines Vektors variabler Größe irgendwo, wie groß der nun wirklich war. Beim Löschen ist dann hinter das `"delete"` ein Klammerpaar `"[ ]"` zu setzen:

```
void main()
{ int anz;

   unsigned *varivec = new unsigned[anz];  // ...

   delete [ ] varivec;
}
```

Bei älteren C++-Versionen („1.0-Standard") mußte man in diesen Klammern sogar die Vektorgröße angeben:

```
delete [anz] varivec;
```

Das ist heutzutage nicht mehr nötig. MaxonC++ akzeptiert es, um die Kompatibilität zu den alten Compilern zu wahren. Es ist absolut egal, was man in diese Klammern schreibt. Weglassen darf man diese Klammern aber nicht, sonst steigt das Programm wieder einmal aus.

2.6.4 Initialisierungen

Jede Variable kann initialisiert werden, folglich ist es nur recht und billig, wenn man dynamisch erzeugte Objekte ebenfalls initialisieren kann. Dabei ist der Initialisierungsausdruck beim `"new"` hinter den Datentyp zu setzen:

```
void fun(int *ip)
{ ip = new int(42);
}
```

Die Allozierungsanweisung ist also identisch mit

```
ip = new int;
*ip = 42;
```

Es gibt dabei allerdings ein paar Einschränkungen:

- Referenzen können nicht erzeugt und folglich auch nicht initialisiert werden.
- Vektoren können nicht initialisiert werden. Das kommt wohl daher, daß die Vektorgröße bei `"new"` variabel sein kann, C++ sonst aber nur Vektoren bekannter konstanter Größe initialisieren kann. Man müßte für diesen Fall völlig neue Regeln erfinden und implementieren, und das lohnt den Aufwand einfach nicht. Mit `"new"` erzeugte Vektoren fester Größe könnten zwar prinzipiell nach den bekannten Regeln initialisiert werden, aber so etwas kommt in der Praxis kaum vor (Sie erinnern sich, satt einen Vektor fester Größe zu allozieren, kann man ihn genausogut ganz normal deklarieren) und deshalb hat man darauf verzichtet.
- Strukturen können nicht mit Elementlisten initialisiert werden:

```
struct S { int a, b; };

S *sp = new S({1, 2});     // SYNTAX ERROR
```

Das erscheint auf den ersten Blick als ein großes Manko, aber Elementlisten sind ein altes, konventionelles C-Feature, während man Strukturen in C++ in der Regel mit „Konstruktoren" initialisieren wird. Da `"new"` ein neues Feature von C++ ist, hatte man wohl keine rechte Lust, hier auch noch diese antiquierten Elementlisten zu unterstützen.

Da ich gerade dabei bin, zu den objektorientierten Features vorzugreifen, will ich hier noch erwähnen,

- daß man beim Erzeugen einer Struktur mit einem „Konstruktor" stets geeignete Argumente dafür als Initialisierung angeben muß, es sei denn, die Struktur hat einen „Default-Konstruktor",
- daß ein Vektor von Strukturen nur dann mit `"new"` alloziert werden kann, wenn die Struktur einen „Default-Konstruktor" besitzt, welcher dann für jedes einzelne Vektorelement aufgerufen wird, und
- daß beim Löschen einer Struktur mit `"delete"` ggf. der „Destruktor" dieser Struktur aufgerufen wird. Entsprechend wird bei Vektoren von Strukturen der Destruktor für jedes einzelne Vektorelement aufgerufen.

Aber von all' diesen geheimnisvollen Features gehen wir jetzt zuerst noch einmal zurück in das finstere C-Mittelalter:

2.6.5 „malloc" und andere Antiquitäten

Wie bereits erwähnt, hatten in alten Tagen die C-Programmierer (die es heute angeblich immer noch geben soll, aber das ist bestimmt nur eine Legende) ein hartes Leben: ANSI C kennt weder

"new" noch "delete". Statt dessen lief die Speicherverwaltung im wesentlichen über zwei Funktionen aus "<stdlib.h>". Man reservierte sich Speicher mit der Funktion

```
void *malloc(size_t size):
```

Dabei bezeichnet "size_t" einen Datentypen, der ebenfalls in "<stdlib.h>" deklariert wird und gerade der Typ ist, den "sizeof" als Ergebnis hat (in MaxonC++ ist das "unsigned int"). Die Funktion "malloc" reserviert jedenfalls "size" Bytes und gibt einen Zeiger darauf zurück:

```
#pragma -
#include <stdlib.h>

void main()
{ int *ip = malloc(sizeof(int));
  /* usw. */
}
```

Man beachte, daß man in C++ nicht so ohne weiteres ein "void*" in einen anderen Pointertyp verwandeln kann, weshalb man in C++ einen Cast setzen müßte:

```
int *ip = (int*) malloc(sizeof(int));
```

Aber es wird wohl niemand mehr in C++ noch "malloc" verwenden.

Man kann im allgemeinen nicht erwarten, daß ein "n"-elementiger Vektor gerade "n"-mal so groß ist wie sein Elementtyp. Die Struktur

```
struct S { int i; char c; };
```

z. B. nimmt in MaxonC++ gerade fünf Bytes ein, nämlich vier für "int" und eins für "char". Auf dem MC68000 und vielen anderen Prozessoren auch müssen Langwortdaten aber immer an einer geraden Adresse stehen. Deshalb wird der Compiler bei einem Vektor von "S" für jedes Element ein zusätzliches Füllbyte reservieren, so daß jedes Vektorelement und damit auch das darin enthaltene "i" an einer geraden Adresse liegt. MaxonC++ fügt hier sogar drei Bytes ein, um eine Langwort-Ausrichtung zu erzwingen. Langer Rede, schwacher Sinn: Es ist nicht empfehlenswert, mit "malloc" einen Vektor variabler Größe einzurichten, denn

```
malloc(n * sizeof(struct S))
```

führt aus den oben angeführten Gründen oft zu falschen Ergebnissen, und

```
malloc(sizeof(struct S[n]))
```

ist in C ganz einfach falsch, denn hier gibt es keine Vektoren nicht-konstanter Größe. Also gibt es auch noch die Funktion

```
void *calloc(size_t nobj, size_t size)
```

zum korrekten Allozieren von Vektoren, wobei der erste Parameter die Anzahl der Elemente und der zweite die normale Größe des Elementtyps darstellt:

```
struct S *var_s_vec = calloc(n, sizeof(struct S))
```

"calloc" kennt die „Alignment"-Regeln des jeweiligen C-Systems und kann deshalb die notwendige Anzahl von Füllbytes einfügen. "malloc" steht wohl für „Memory ALLOCation", aber was das "c" am Anfang von "calloc" heißen soll, weiß ich auch nicht. Mir persönlich würde der Name "colloc" viel besser gefallen, denn das ist wenigstens ein Palindrom.

Zu guter Letzt braucht man natürlich auch noch eine Funktion, die Speicher wieder freigibt:

```
void free(void *p);
```

Man übergibt hier wie bei der "delete"-Anweisung einen Zeiger auf das zu löschende Objekt, das entweder mit "malloc" oder "calloc" erzeugt worden sein muß, z. B.

```
free(var_s_vec);
```

Man hat hier also keine unterschiedlichen Freigabeanweisungen wie in C++ ("delete" und "delete[]").

Man sieht sofort, daß diese C-Funktionsaufrufe nicht gerade besonders schön aussehen, und da man in C++ ohnehin dabei war, C gründlich zu erweitern, hat man die viel schöneren "new"- und "delete"-Ausdrücke eingeführt. "new" und "delete" sind übrigens zwei Wortsymbole und damit ein echter Bestandteil der Programmiersprache C++, während "malloc" und "free" keine wirklichen C-Sprachkonstrukte, sondern nur zwei Bibliotheksfunktionen wie andere auch sind. Das Konzept der dynamischen Datenorganisation wurde in C++ also „aufgewertet".

Neben diesen ästhetischen Überlegungen gibt es aber auch noch ganz handfeste Gründe, weshalb "malloc" und "free" für objektorientierte Programmierung ungeeignet sind: Der C++-Compiler muß aus Gründen der Konsistenz eine Möglichkeit haben, festzustellen, ob ein neues Datenobjekt erzeugt bzw. ein bestehendes gelöscht wird, weil dabei eventuell Konstruktoren oder Destruktoren aufgerufen werden müssen.

Für alle, die immer noch am sittlichen Nährwert der dynamischen Datenorganisation zweifeln, und insbesondere alle die, die glauben, daß sie so etwas nie kapieren werden, möchte ich zu diesem Thema ein etwas größeres Beispiel bringen:

2.6.6 Beispielprogramm: Eine Liste von Daten

2.6.6.1 Das Problem: Ein wirrer Haufen von Daten

Ein Problem, auf das man als Programmierer immer wieder stößt, sind Listen von irgendwelchen Daten. Anfänger, lösen so etwas mit Vektoren, was zwar einfach und auch schnell ist, aber den ganz gewaltigen Nachteil hat, daß man normalerweise Vektoren fester Größe deklarieren muß. Auch Vektoren variabler Größe (siehe 2.6.3) sind nicht so ganz das Gelbe vom Ei, denn hier muß man schon in dem Moment, in dem die Datenstruktur erzeugt wird, wissen, wie viele Elemente die Liste höch-

stens umfassen soll. Nein, für echte Programmierer führt wirklich kein Weg an dynamischen Listen vorbei.

Die lineare Liste ist bestimmt nicht die beste, aber die einfachste und deshalb gebräuchlichste Datenstruktur. Auch das Amiga-Betriebssystem macht intern von solchen Strukturen ausgiebig Gebrauch. Was versteht man aber unter einer Liste?

Als Beispiel wollen wir ein kleines Telefonbuch erzeugen. Jeder Eintrag umfaßt hier zunächst einen Namen und eine Telefonnummer:

```
struct Eintrag_erster_Entwurf
{ char Name[30];
  char Nummer[20];
};
```

Nun stellen wir an unsere Datenstruktur aber folgende Anforderungen:

1. Die Anzahl der Datensätze ist ausschließlich durch das zur Verfügung stehende RAM begrenzt. Dabei soll die Struktur zu keinem Zeitpunkt mehr Speicher als unbedingt erforderlich benötigen.
2. Die Datensätze können in beliebiger Reihenfolge eingegeben werden und werden dabei sofort sortiert.
3. Daten können aus der Struktur gelöscht werden. Dabei können Einfüge- und Löschoperationen in beliebiger Reihenfolge erfolgen.

Und alles das soll auch noch halbwegs schnell vor sich gehen. Wie packt man nun ein solches Problem an?

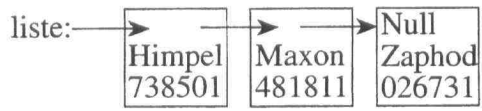
Es führt offensichtlich kein Weg daran vorbei, die Daten dynamisch im RAM einzurichten. Die Idee der Liste ist, daß jedes Element einen Zeiger auf das nachfolgende besitzt, etwa so:

```
struct Eintrag_erster_Entwurf
{ Eintrag_erster_Entwurf *next;
  char name[30];
  char nummer[20];
};
```

Alles, was wir jetzt noch brauchen, ist ein Zeiger auf das erste Listenelement:

```
Eintrag_erster_Entwurf *liste;
```

Der Name des ersten Listenelements ist dann wie gewohnt `"liste->name"`, der des zweiten Elements `"liste->next->name"`, an das dritte Listenelement gelangt man über `"liste->next->next->name"` und so weiter. Natürlich muß jede Liste ein Ende haben, und das markiert man normalerweise, indem man dort als `"Next"`-Zeiger eine Null einträgt. Ein „Telefonbuch" mit drei Einträgen könnte also folgendermaßen aussehen:



Es dürfte anschaulich klar sein, wie man sich mit einem Zeiger durch eine solche Struktur hangeln kann, aber nur in eine Richtung, vom Anfang zum Ende. Man nennt eine solche Struktur eine „einfach verkettete Liste".

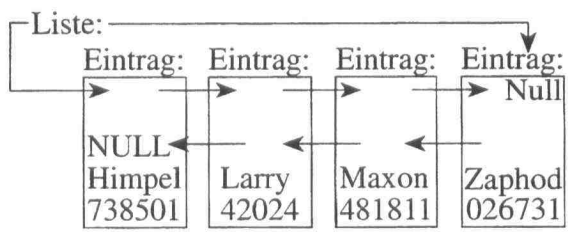
2.6.6.2 Die Lösung: Eine doppelt verkettete Liste

Etwas komplizierter ist eine doppelt verbundene Liste, mit der wir uns im folgenden befassen wollen. Dabei hat jedes Listenelement gleich zwei Zeiger, wie gehabt einen auf den Nachfolger und zusätzlich einen auf den Vorgänger:

```
struct Eintrag
{  Eintrag *next, *prev;

   char name[30];
   char nummer[20];
};
```

Auch jetzt reicht es eigentlich, wenn wir einen Zeiger auf den Listenanfang haben, aber da wir schon die Möglichkeit haben, rückwärts durch die Struktur zu laufen, benutzen wir hier aus Symmetriegründen lieber gleich zwei Zeiger: Einen auf das erste und einen auf das letzte Element der Liste. Das schreit wiederum danach, diese beiden Zeiger in einer neuen Struktur namens `"Liste"` zusammenzufassen:

```
struct Liste
{  Eintrag *anfang, *ende;
};
```



Am besten macht man sich auch das wieder mit einem „Bildchen" klar, diesmal gleich mit vier Einträgen:

Das sieht ja schon ganz schön kompliziert aus, und wir haben es nun auch mit zwei verschiedenen Datentypen zu tun. Aber keine Angst, wenn man sich erst einmal an das Listen-Konzept gewöhnt hat, ist das ganz einfach - ehrlich!

Zum „Aufwärmen" schreiben wir uns eine Funktion, die alle Daten einer Liste ausgibt. Wir nennen sie folgerichtig `"Ausgabe"` und als Parameter erhält sie eine Referenz auf eine `"Liste"`. Wir benutzen hier besser eine Referenz, weil dann beim Funktionsaufruf nur ein Zeiger auf die Liste auf den Stack kopiert werden muß, während sonst die ganze Struktur (immerhin zwei Zeiger) kopiert werden müßte. Weil wir aber nicht vorhaben, bei der Ausgabe irgend etwas an der Liste zu verändern, benutzen wir die Qualifizierung `"const"`:

```
void Ausgabe (const Liste &L)
{
```

Wie geht's jetzt weiter? Wir müssen irgendwie durch die ganze Liste laufen, und zwar vom Anfang bis zum Ende. Also brauchen wir einen Zeiger auf ein „Element", den wir gleich auf das erste Element der Liste setzen:

```
Eintrag *E = L.anfang;
```

Jetzt müssen wir folgende drei Schritte iterieren:

1. Prüfe, ob das Listenende erreicht ist; falls ja, sind wir fertig.
2. Andernfalls gebe das Listenelement, auf das `"E"` zeigt, aus.
3. Setze `"E"` auf das nächste Listenelement und mach bei (1.) weiter.

Genau das besorgt die folgende Schleife:

```
while (E != 0)
{ cout « E->name « ": " « E->nummer « "\n";
  E = E->next;
}
```

Hier gibt es noch einiges zu verbessern, aber wir wollen es einmal dabei belassen. Die komplette Funktion sieht also so aus:

```
#include <stream.h>

void Ausgabe(const Liste &L)
{ Eintrag *E = L.anfang;

  while (E != 0)
  { cout « E->name « ": " « E->nummer « "\n";
    E = E->next;
  }
}
```

Man könnte sie aber auch so schreiben:

```
void Ausgabe (const Liste &L)
{ for(Eintrag *E = L.anfang; E; E = E->next)
  cout « E->name « ": " « E->nummer « "\n";
}
```

Durch scharfes Hinsehen werden Sie feststellen, daß es sich hier nur um eine andere Schreibweise desselben Algorithmus handelt. C ist eben eine sehr „flexible" Sprache - man kann Programme beliebig konfus schreiben. „But now to something completely different:"

2.6.6.3 Initialisieren und Einfügen

Auch eine Liste muß initialisiert werden, nämlich als leere Liste. Am besten schreibt man sich auch dafür eine kleine Funktion:

```
void Init(Liste &L)
{ L.anfang = 0;
  L.ende   = 0;
}
```

Das Schöne an C++ ist ja, daß man Funktionen überladen kann. Sie können also in einem Programm -zig Datentypen haben und für jeden so eine Funktion namens `"Init"` definieren, der Compiler weiß, welche er zu nehmen hat. Noch nicht einmal das müssen Sie tun, denn dafür gibt es Konstruktoren und Destruktoren, aber das gehört jetzt nicht hier hin.

Eine leere Liste ist nicht besonders aufregend, also brauchen wir dringend eine Funktion, die einen Datensatz in die Liste einfügt. Auch dafür schreiben wir eine Funktion, die als Parameter eine Listenstruktur, einen Namen und eine Telefonnummer erhält. Die Funktion liefert einen Zeiger auf das neu erzeugte Listenelement zurück. Wenn kein Speicher reserviert werden konnte, gibt sie eine Null zurück.

Also deklarieren wir unsere Funktion - aber nicht, ohne vorher die Stringfunktionen einzubinden:

```
#include <string.h>

Eintrag *Einfueg(Liste &L, const char Name[], const char Nummer[])
{
```

Es geht jetzt ziemlich simpel los: Wir erzeugen ein neues Element und geben eine Null zurück, wenn das fehlschlug:

```
Eintrag *neu = new Eintrag;

if (!neu)
   return 0;
```

Jetzt sollten wir das neue Element noch mit den Argumenten der Funktion initialisieren, wobei wir wegen dieses von C geerbten *%&@ß-Stringhandlings auf die `"strcpy"`-Funktion zurückgreifen müssen:

```
strcpy(neu->name, Name);
strcpy(neu->nummer, Nummer);
```

So, nun wird es kompliziert. Als erstes müssen wir herausfinden, wo wir das neue Element in der Liste einhängen sollen. Deshalb lassen wir einen Zeiger namens `"pos"` durch die Liste laufen, bis

wir ein Element finden, dessen "name" alphabetisch größer als der neue ist, wobei allerdings der Sonderfall auftreten kann, daß es kein solches Element gibt:

```
Eintrag *pos = L.anfang;

while (pos!=0 && strcmp(pos->name, Name) < 0)
  pos = pos->next;
```

Man beachte, daß C logische Ausdrücke grundsätzlich minimal auswertet: Wenn die Klausel "pos != 0" schon nicht erfüllt ist, wird der zweite Teil der Schleifenbedingung, nämlich das "strcmp", gar nicht mehr ausgewertet.

Was heißt das nun, wenn die Schleife mit "pos == 0" anhält? Offensichtlich ist das neue Element das größte der ganzen Liste, was aber auch daran liegen kann, daß die Liste ganz einfach leer ist. Also testen wir zuerst diese Sonderfälle ab:

```
if (pos == 0)
// Sonderfall: Anfügen an das Ende der Liste
{ Eintrag *alt = L.ende;  // Altes Listenende
```

Der Zeiger "alt" zeigt also auf das bisher letzte Element der Liste. Wenn die Liste bisher leer war, ist "alt" natürlich Null, andernfalls:

```
if (alt != 0)
// Allgemeiner Unter-Fall: wirklich anhängen
{ alt->next = neu;
  neu->prev = alt;
  neu->next = 0;
  L.ende = neu;
}
```

Langsam zum Mitdenken: Zuerst setzen wir "neu", also das neue Listenelement, als Nachfolger von "alt", also dem bisherigen Listenende, und anschließend definieren wir umgekehrt "alt" als Vorgänger von "neu". Nun müssen wir nur noch den Nachfolgerzeiger des neuen Elements auf Null setzen, denn es ist nun ja das letzte Listenelement, und den Eintrag "ende" der Listenstruktur aktualisieren, indem wir ihn auf das neue Element umhängen. Wenn Sie das jetzt nicht verstanden haben, nehmen Sie sich am besten einen Bleistift und die Rückseite eines gebrauchten Briefumschlags und malen sich die ganze Sache auf.

Es fehlt noch das "else" zum zweiten "if", also der Fall, daß sowohl "pos" als auch "alt" sind Null. Das kann nur daran liegen, daß unsere Liste noch völlig leer ist:

```
else
// Spezieller Spezialfall: Liste ist noch leer
{ neu->next = 0;
  neu->prev = 0;
  L.anfang = neu;
  L.ende = neu;
}
```

Diese Zuweisungen dürften halbwegs verständlich sein: Das neue Element ist das einzige und hat deshalb weder Vorgänger noch Nachfolger. Es ist jetzt gleichzeitig das erste und das letzte Listenelement, weshalb beide Zeiger der Listenstruktur auf das neue Element gesetzt werden müssen.

Nun poppen wir eine Ebene 'rauf und überlegen uns, was wir tun, wenn `"pos"` nicht auf Null zeigt, wir also ein Element gefunden haben, vor das wir das neue hängen müssen. Hier gibt es dann gleich noch einen Sonderfall: Möglicherweise ist das neue Element das kleinste der ganzen Liste und muß deshalb an den Anfage gehängt werden. Das erkennt man wahlweise daran, daß `"pos == L.anfang"` gilt oder daß `"pos"` keinen Vorgänger hat:

```
  }
  else
  if (pos->prev == 0)
  // Sonderfall: Neues Element an Listenanfang hängen
  { pos->prev = neu;
    neu->next = pos;
    neu->prev = 0;
    L.anfang = neu;
  }
```

Das geht völlig analog zum Fall „Anhängen an das Listenende", nur daß wir hier mit `"pos"` schon einen Zeiger auf das bisher erste Listenelement haben und deshalb keine Hilfsvariable wie `"alt"` einführen müssen. Nun kommen wir endlich zum ganz gewöhnlichen, allgemeinen Fall, daß das neue Element zwischen zwei andere gehängt werden muß:

```
  else
  // Allgemeiner Fall: Element in Liste einhängen
  { Eintrag *vor = pos->prev;
```

Die Hilfsvariable `"vor"` wird uns einige Schreibarbeit ersparen, echte Pointerartisten könnten aber auch ohne sie auskommen. Das neue Element muß jetzt zwischen die Elemente, auf die `"vor"` bzw. `"pos"` zeigen, eingehängt werden. Zuerst hängen wir es hinter `"vor"`:

```
    vor->next = neu;
    neu->prev = vor;
```

...und anschließend vor `"pos"`:

```
    neu->next = pos;
    pos->prev = neu;
}
```

Damit wären wir fertig und müssen nur noch am Ende der Funktion einen Zeiger auf das neue Element zurückgeben:

```
return neu;
}
```

Gar nicht so einfach - oder? Ich hoffe, daß ich Ihnen damit nicht ein für allemal die Lust auf dynamische Speicherorganisation genommen habe. Es gibt auch eine wesentlich einfachere Datenstruktur,

nämlich die einfach verkettete Liste, und Varianten unseres Konzepts, bei denen man gleich bei der Initialisierung der Listenstruktur „Phantom-Elemente" an den Anfang bzw. das Ende der Liste hängt, was einem die vielen Sonderfälle erspart. Aber wir bleiben unbeirrt bei unserem Listenkonzept und schreiben dafür jetzt noch zwei unverzichtbare Routinen:

2.6.6.4 Suchen und Löschen

MaxonC++ löscht zwar am Programmende automatisch alle dynamischen Objekte, aber trotzdem ist es sinnvoll, wenn man sich eine Routine schreibt, die eine ganze Datenstruktur löscht. Hier ist sie:

```
void AllesLoeschen(Liste &L)
{ Eintrag *p = L.anfang;

  while(p)
  { Eintrag *hilf = p;
    p=p->next;
    delete hilf;
  }
  Init(L);
}
```

In der Schleife wird wieder die Liste durchlaufen, wobei alle Einträge gelöscht werden. Anschließend wird der Ordnung halber `"Init"` aufgerufen, wodurch die beiden Zeiger der Listenstruktur wieder auf Null gesetzt werden.

Wieso braucht man hier den Hilfszeiger `"hilf"`? In der Schleife sind zwei Schritte auszuführen: Das Element, auf das `"p"` gerade zeigt, ist zu löschen, und `"p"` ist auf das nachfolgende Element zu setzen. Wenn man erst `"p"` weitersetzt, löscht man natürlich das falsche Element, aber wenn man erst `"delete"` aufruft, liest man anschließend bei `"p = p->next"` aus einem Datenelement, das man ja soeben gelöscht hat - eine etwas haarige Sache! Also gibt es nur eine Lösung: Man setzt erst einen Hilfszeiger auf das aktuelle Lietenelement, geht dann mit `"p"` ein Element weiter und löscht das fragliche Listenelement dann über den Hilfszeiger.

Wir wollen aber nicht immer die ganze Liste löschen, sondern auch einzelne Elemente aus der Liste entfernen. Dafür dient die folgende Funktion:

```
void Loeschen(Liste &L, Eintrag *E)
{
```

Ein Blick auf die Listenstruktur sagt uns, daß wir vor dem Löschen des Elements `"E"` dessen Vorgänger und Nachfolger verändern müssen:

```
Eintrag *vor = E->prev, *nach = E->next;
```

Es kann natürlich sein, daß `"E"` gar keinen Vorgänger hat, dann handelt es sich offenbar um den Listenanfang. Andernfalls ist der neue Nachfolger des Vorgängers der bisherige Nachfolger des zu löschenden Elements (welch ein Satz!):

```
  if (vor)
    vor->next = nach;
```

Falls wir es mit dem Listenanfang zu tun haben, müssen wir zwar nicht dessen Vorgänger (den es ja nicht gibt), wohl aber die Listenstruktur selbst verändern:

```
  else
    L.anfang = nach;
```

Dadurch wird der Nachfolger des bisher ersten Elements der neue Listenanfang. Auf der anderen Seite des zu löschenden Elements läuft alles ganz analog:

```
  if (nach)
    // Element hat Nachfolger: Dann dessen Vorgänger verändern
    nach->prev = vor;
  else
    // Kein Nachfolger, also Listenende anpassen
    L.ende = vor;
```

Nun haben wir den Eintrag aus der Liste ausgehängt und geben last not least seinen Speicher wieder frei:

```
  delete(E);
}
```

Um diese Löschfunktion zu benutzen, braucht man einen Zeiger auf ein Element, aber wie bekommt man den? Nun, zum Beispiel indem man mit der folgenden Funktion einen Eintrag aufgrund seines Namens sucht:

```
Eintrag *Suche(const Liste &L, char *Name)
{ for( Eintrag *p = L.anfang; p && strcmp(p->name, Name);
  p = p->next );
  return p;
}
```

Verglichen mit den anderen, ist diese Funktion wirklich nicht sehr kompliziert. Deshalb habe ich mir die Freiheit genommen, sie etwas konfus aufzuschreiben: Anstelle der `"while"`-Schleifen, die in den anderen Funktionen zum Durchlaufen der Liste benutzt wurde, nehmen wir hier eine `"for"`-Schleife. Vor der Schleifenausführung wird der Zeiger `"p"` mit dem Listenanfang initialisiert (wobei Sie sich nicht wundern sollten, daß `"p"` dabei deklariert wird, denn das ist in C++ erlaubt), dann folgt auch schon die Schleifenbedingung, die aus zwei Klauseln besteht. Als „echter" C-Hacker habe ich jedesmal das `"!= 0"` weggelassen, denn das ist bekanntlich zwar übersichtlicher, aber redundant. Die Schleifenbedingung könnte man also auch

```
p != 0 && strcmp(p->name, Name) != 0
```

schreiben. Der dritte Teil jeder `"for"`-Schleife ist die Anweisung, die nach jedem Durchlaufen der Schleife ausgeführt werden soll. Hier setzt sie in bekannter Weise den Zeiger `"p"` weiter.

Und was ist mit dem Schleifenrumpf? Nun, wir tun doch schon alles, was nötig ist, deshalb entfällt er hier ersatzlos, und er wird durch ein schlichtes, einsames Semikolon ersetzt. Am Ende der Funktion

müssen wir nur noch den Wert von `"p"` zurückgeben, denn dieser zeigt dann entweder auf die gesuchte Person oder ist Null, wenn der Name nicht gefunden wurde. Dies ist wieder ein nettes Beispiel dafür, daß man in C ausgesprochen kompakte Programme schreiben kann, die dann nicht gerade gut lesbar sind.

2.6.6.5 Das Programm an einem Stück

Aus Gründen der besseren Übersicht folgt jetzt noch einmal das Ganze Listenprogramm. Außerdem braucht jedes Programm ein Hauptprogramm, weshalb ich noch eine kleine Funktion `"main"` angehängt habe.

```
/*
Doppelt verkettete Listen

Ein kleines Beispiel für dynamische Datenstrukturen in C++, aber ohne
objektorientierte Programmierung

Programmiert von Jens Gelhar am 13.01.92
*/

#include <stream.h>
#include <string.h>

// * * * Datentypen * * *

struct Eintrag        // Ein einzelner "Telefonbuch"-Eintrag
{ Eintrag *next, *prev;   // Vorgänger und Nachfolger

  char name[30];        // Name und...
  char nummer[20];    // Telefonnummer
};

struct Liste          // Sortierte Liste von Einträgen
{ Eintrag *anfang, *ende;    // Erstes bzw. letztes Listenelement
};

// * * * Funktionen * * *

void Init(Liste &L)   // Initialisiert eine Listenstruktur,
                              // indem sie ihre beiden
                              // Pointer auf 0 setzt:
{ L.anfang = 0;
  L.ende   = 0;
}

void Ausgabe (const Liste &L)  // Telefonbuch ausgeben
{ for(Eintrag *E = L.anfang; E; E = E->next)
    cout « E->name « ": " « E->nummer « "\n";
}

Eintrag *Einfueg(Liste &L, const char Name[], const char Nummer[])
  // Fügt einen neuen Eintrag in die Liste ein
```

```
{ // Neues Element erzeugen:
  Eintrag *neu = new Eintrag;

  if (!neu) return 0;        // Kein Speicher frei!

  // Neues Element initialisieren:
  strcpy(neu->name, Name);
  strcpy(neu->nummer, Nummer);

  // Richtige Position zun Einfügen suchen:
  Eintrag *pos = L.anfang;

  while (pos!=0 && strcmp(pos->name, Name) < 0)
    pos = pos->next;

  // Element in Liste einhängen, dabei diverse
  // Sonderfälle beachten:

  if (pos == 0) // Sonderfall: Anfügen an das Ende der Liste
  { Eintrag *alt = L.ende;  // Altes Listenende

    if (alt != 0) // Allgemeiner Unter-Fall: wirklich anhängen
    { alt->next = neu;
      neu->prev = alt;
      neu->next = 0;
      L.ende = neu;
    }
    else        // Spezieller Spezialfall: Liste ist noch leer
    { neu->next = 0;
      neu->prev = 0;
      L.anfang = neu;
      L.ende = neu;
    }
  }
  else
    if (pos->prev == 0)   // Sonderfall: Neues Element an
                                        // Listenanfang hängen
    { pos->prev = neu;
      neu->next = pos;
      neu->prev = 0;
      L.anfang = neu;
    }
    else
    // Allgemeiner Fall: Element in Liste einhängen
    { Eintrag *vor = pos->prev;
      // "neu" zwischen "vor" und "pos" einhängen:
      vor->next = neu;
      neu->prev = vor;
      neu->next = pos;
      pos->prev = neu;
    }
```

```
  // Fertig, Zeiger auf neues Element zurückgeben:
  return neu;

}

void AllesLoeschen(Liste &L)
// Löscht sämtliche Listenelemente
{ Eintrag *p = L.anfang;

  while(p)
  { Eintrag *hilf = p;
    p=p->next;
    delete hilf;
  }
  Init(L);
}

void Loeschen(Liste &L, Eintrag *E)
  // Löscht das Element, auf das "E" zeigt, aus Liste "L"
{ // Vorgänger unf Nachfolger des zu löschenden Elements
  Eintrag *vor = E->prev, *nach = E->next;

  if (vor)  // Element hat Vorgänger: dann dessen
              // Nachfolger umsetzen
    vor->next = nach;
  else      // Kein Vorgänger: dann Listenanfang aktualisieren
    L.anfang = nach;

  if (nach) // Element hat Nachfolger: dann dessen Vorgänger
              // verändern
    nach->prev = vor;
  else      // Kein Nachfolger, also Listenende anpassen
    L.ende = vor;

  delete(E);
}

Eintrag *Suche(const Liste &L, char *Name)
// Sucht einen Eintrag mit diesem Namen und
// gibt Zeiger auf das
// zugehörige Listenelement zurück, oder 0 bei Fehler
{ for( Eintrag *p = L.anfang; p && strcmp(p->name, Name);
    p = p->next );
  return p;
}

// * * *  Hauptprogram  * * *

void main()
{ // Eine Liste wird deklariert und initialisiert:

  Liste l;
```

```
  Init(l);

  // Ein paar Beispieldaten werden eingefügt:

  Einfueg(l, "Harley-Davidson", "001-414/342-4680");
  Einfueg(l, "Boris Becker", "0815/4711");
  Einfueg(l, "James Bond", "007/26731");
  Einfueg(l, "Maxon", "06196/481811");
  Einfueg(l, "Zaphod Beeblebrox", "00042/08154242");
  Einfueg(l, "Luxemburg", "00352");
  Einfueg(l, "Queensr\0377che", "795069");
  Einfueg(l, "Fishbone", "4676152");

  // Einen Datensatz suchen und ggf. löschen:

  Eintrag *e = Suche(l,"Maxon");
  if (e)
    Loeschen(l, e);
  else
    cout « "Name nicht gefunden!\n";

  // Restliche Liste ausgeben:
  Ausgabe(l);

  // ...und wieder aufräumen:
  AllesLoeschen(l);

}
```

3. Objektorientiertes Programmieren

3.1 Klassen und Objekte

3.1.1 Keine Panik!

Viele Leute behaupten, das Konzept der objektorientierten Programmierung werde die Softwareentwicklung revolutionieren, weit stärker als das etwa die Einführung der strukturierten Programmiersprachen es in den beiden vergangenen Jahrzehnten getan hat, und wahrscheinlich werden diese Leute recht behalten.

Die Sache hat bisher einen kleinen Haken: So mancher, der von „objektorienterter Programmierung" spricht, hat keine rechte Ahnung davon, was das eigentlich ist. Auch viele erfahrene Programmierer stehen ratlos vor Begriffen wie „Klasse", „Methode" oder „Vererbung" und verstehen die Welt nicht mehr. Was ist geschehen? Wird jetzt alles anders? Sind fünf Jahrzehnte prozeduraler Programmierung plötzlich nichts mehr wert?

Aber die Rettung naht, ist sogar schon da: Kapitel 3 des Handbuchs zu MaxonC^{++}, jawohl, genau das, was Sie jetzt gerade lesen!

Zunächst sollten Sie das bekannte Motto, das in großen, freundlichen Buchstaben über diesem Abschnitt steht, beherzigen. Damit das Ihnen etwas leichter fällt, werde ich im folgenden versuchen, halbwegs klarzustellen, was es mit der objektorientierten Programmierung eigentlich auf sich hat.

Das Problem dabei, das auch zu der allgemeinen Verwirrung und Unkenntnis im Zusammenhang mit OOP („objekt-orientierter Programmierung") erheblich beiträgt, ist, daß das Ganze nur bei großen, komplexen Projekten Sinn macht. Es ist zwar durchaus möglich, ein objektorientiertes „Hello World"-Programm zu schreiben, aber einen sittlichen Nährwert hat das nicht. Aber nehmen wir als Beispiel doch ganz einfach das Listen-Programm, das am Ende von Kapitel zwei ausführlich dargestellt wurde. Darin könnte man nämlich schon einige (mit etwas Mühe sogar alle) objektorientierten Features sinnvoll einsetzen.

Eine Grundidee der objektorientierten Programmierung ist, den Daten des Programms eine gewisse Intelligenz zu verleihen. Bei größeren Programmen stellt man schnell fest, daß man eigentlich herzlich wenig mit reinen Algorithmen zu tun hat, im wesentlichen bestehen viele Programme aus Datenstrukturen und Funktionen, die auf diesen Daten operieren. Oft liegt die ganze Cleverness beim Programmieren im geschickten Design der Datenstrukturen, während die Algorithmen des Programms vergleichsweise trivial sind. Und damit wären wir auch schon bei einigen im Zusammenhang mit OOP vielbenutzten Begriffen:

Eine „Klasse" ist zunächst nichts anderes als ein ganz gewöhnlicher Datentyp, wie Sie ihn aus der „konventionellen" (d. h. nicht objektorientierten) Programmierung kennen, nur daß zu einer Klasse in der OOP zusätzlich noch Funktionen gehören können. Die Daten und die darauf definierten Funktionen einer Klasse nennt man zusammen sehr vornehm auch die „Eigenschaften" der Klasse.

In C++ ist das grundlegende Sprachkonstrukt zur Definition von Klassen die Struktur, die es ja auch schon in C gibt. Nun kann man in C++ als Member einer Struktur nicht nur Daten, sondern auch Funktionen deklarieren. Diese Funktionen werden dadurch formal an die Struktur, oder sagen wir lieber Klasse, angebunden. Zum Beispiel haben wir im Telefonlisten-Programm zuerst den Datentyp `"Liste"` und anschließend eine Funktion namens `"Einfueg"` definiert, die dann ziemlich beziehungslos im Programmtext 'rumlagen. In C++ kann man die Funktion `"Einfueg"` direkt in die Klassendefinition hineinschreiben, so daß sie Bestandteil der Klasse und ihrer Eigenschaften wird. Solche Funktionen bezeichnet man auch als „Methoden", aber ich persönlich mag diesen Begriff nicht und ziehe die Bezeichnung „Member-Funktion" vor, zumal auch Stroustrup die schlicht Bezeichnung „Member function" bevorzugt.

Man erhält nun eine klare Trennung zwischen den Funktionen, die zu einer Klasse gehören, und allen anderen, die nur „von außen" auf die Klasse zugreifen und die Klasse und ihre Eigenschaften lediglich benutzen. Der Gedanke liegt nahe, den beiden Funktionstypen unterschiedliche Rechte einzuräumen. In C++ dürfen die Member-Funktionen stets „alles" mit einem Klassenobjekt tun, während der Programmierer festlegen kann, welche Eigenschaften der Klasse „der Allgemeinheit" zur Verfügung stehen. Auch das läßt sich wieder an unserer Klasse `"Liste"` veranschaulichen: Hier bietet es sich an, die beiden Datenmember `"anfang"` und `"ende"` als `"privat"` zu deklarieren, so daß man diese von außen nur indirekt über Funktionen wie `"Init"`, `"Einfueg"` usw. benutzen kann. Dadurch ist sichergestellt, daß kein Programmteil versehentlich an diesen beiden Zeigern herumspielen kann. Auch bei der Klasse bzw. Struktur `"Eintrag"` würde man am besten die Member `"prev"` und `"next"` als privat deklarieren, denn diese sind für den „Benutzer" der Klasse nicht von Interesse, während man `"name"` und `"nummer"` eher als öffentlich deklarieren würde. C++ bietet einige durchdachte Features, um derartiges „Information Hiding" zu realisieren und so zwischen den internen Daten und der öffentlichen „Schnittstelle" einer Klasse zu unterscheiden, was als „Separation of Concerns" („Trennung von Angelegenheiten") bezeichnet wird.

Im Telefonlisten-Programm wird Ihnen vielleicht aufgefallen sein, daß man ein Objekt des Typs `"Liste"` erst mit der Funktion `"Init"` initialisieren muß, bevor man es benutzen kann, und daß man die Funktion `"AllesLoeschen"` aufrufen muß, wenn man die Liste nicht mehr benötigt. In C++ und anderen OO-Programmiersprachen stehen Ihnen Features zur Verfügung, die derartige Vorgänge automatisieren, nämlich **„Konstruktoren"** und **„Destruktoren"**. Man deklariert einfach einen Konstuktor, der ein `"Liste"`-Objekt bei seiner Erzeugung initialisiert, und einen Destruktor, der aufräumt, sobald die Existenz des Objekts endet, und schon weiß der Compiler, was er zu tun hat. Das spart nicht nur viel Arbeit, sondern sichert auch die Konsistenz. Man kann darauf vertrauen, daß eine `"struct Liste"` stets sinnvolle Dateneinträge hat. Dadurch beginnen Datenobjekte tatsächlich, ein gewisses Eigenleben zu führen und so etwas wie eine „ lokale Intelligenz" zu besitzen.

Das populärste Schlagwort der OOP-Fans ist sicherlich die „Vererbung". Das klingt furchtbar sophisticated, ist aber letzten Endes doch sehr trivial.

Um wieder auf das kanonische Beispiel zurückzukommen: Ganz unabhängig davon, ob man in einer Listenstruktur nun Telefonnummern oder spanische Inquisitoren abspeichert, gibt es Probleme und

Lösungen, die immer wieder vorkommen. Wenn man ein Datenelement in die Liste einfügt, hängt es durchaus von diesen Daten ab, WO das neue Element eingehängt werden soll, aber das WIE, nämlich dieses furchtbar komplizierte Umhängen von Pointern, ist immer dasselbe. Auch die Löschfunktion könnte man für alle möglichen Listen verwenden.

Der objektorientierte Ansatz ermöglicht es, zunächst ganz allgemein eine Klasse `"Listeneintrag"` zu definieren und dann davon eine neue Klasse, etwa `"Telefonbucheintrag"`, abzuleiten. Die abgeleitete Klasse „erbt" dann alle Eigenschaften der „Basisklasse" und kann neue hinzufügen, nötigenfalls auch Eigenschaften der Basisklasse in kontrollierter Weise verändern (Stichwort: „virtuelle Member"). Und das ist auch fast schon alles, was es mit der objektorientierten Programmierung, jedenfalls der Art von OOP, die C++ zu bieten hat, auf sich hat, wobei übrigens die oben gewählte Reihenfolge der Konzepte nicht unbedingt mit deren Wichtigkeit zu tun hat.

Ihnen brummt der Schädel? Dann wird es höchste Zeit, daß es konkret wird, und nicht vergessen: Keine Panik!

3.1.2 Member-Funktionen

3.1.2.1 Erste Beispiele

Strukturen sind relativ unhandliche Gebilde, die zudem von Haus aus ziemlich wenig können. Zum Beispiel kann man sie nicht so ohne weiteres über `"cout"` ausgeben, und so kommt es, daß man oft eine Ausgabefunktion zu einer Struktur schreiben muß. Dies soll als erstes Beispiel für eine Member-Funktion dienen:

```
struct Person
{ char Vorname[20], Nachname[20];
  int Tag, Monat, Jahr;
  void Ausgabe();
};

Person p1, *person_ptr;
```

Urplötzlich und unerwartet taucht hier in der Strukturdefinition ein Funktionsprototyp auf. Dadurch wird eine Funktion namens `"Ausgabe"` als Member (oder „Methode") der Klasse `"Person"` deklariert. Nun kann man sie für jedes Datenobjekt aufrufen:

```
p1.Ausgabe();
person_ptr->Ausgabe();
```

Dafür ist es natürlich wie immer nötig, die Funktion zu definieren. Dabei muß man dem Compiler aber irgendwie klarmachen, daß man die Member-Funktion `"Ausgabe"` der Struktur `"Person"` zu definieren gedenkt und nicht irgendeine andere Funktion gleichen Namens, denn genau wie alle anderen Member liegt auch `"Ausgabe"` hier im Gültigkeitsbereich der Struktur verborgen. Dazu dient der Scope-Operator `"::"`. Mit `"Person::Ausgabe"` kann man von jeder Stelle des Programms aus genau diese Memberfunktion ansprechen, und das benutzen wir auch, wenn wir sie definieren:

```
void Person::Ausgabe()
{ // usw.
```

Scheinbar hat die Funktion keine Parameter, scheinbar, denn eine normale Memberfunktion hat immer einen Parameter namens `"this"`. Das ist ein Zeiger auf das Objekt, auf dem die Funktion aufgerufen wird. Also können wir folgendes schreiben:

```
void Person::Ausgabe()
{ cout « this->Nachname « ", " « this->Vorname « "\n";
  cout « "geboren am " « this->Tag « "." « this->Monat « "."
  « this->Jahr « "\n";
}
```

Das könnte man schreiben, muß man aber nicht! Die erste Deklaration einer Member-Funktion liegt im Scope ihrer Klasse, und so kommt es, daß auch bei der späteren Funktionsdefinition jener Scope sichtbar ist. Also sind die Membernamen wie `"Vorname"` oder `"Monat"` in der Funktion `"Person::Ausgabe"` direkt sichtbar und bezeichnen dort die entsprechenden Member von `"*this"`. Die folgende Funktion ist viel kürzer und schöner:

```
void Person::Ausgabe()
{ cout « Nachname « ", " « Vorname « "\n";
  cout « "geboren am " « Tag « "." « Monat « "." « Jahr « "\n";
}
```

Auch Member-Funktionen können auf diese einfache Weise aufgerufen werden:

```
struct S
{ int i;
  void f(int);
  int g(int);
};

int S::g(int j)
{ f(j);          // statt "this->f(j);"
  return i;   // statt "this->i;"
}
```

Eine Member-Funktion kann prinzipiell einen Parameter ihres Klassentyps besitzen:

```
struct T1
{ void memberfunktion(T1);
};
```

Beim Aufruf einer solchen Funktion muß aber die ganze Klasse auf den Stack kopiert werden, was bisweilen zu fürchterlich langsamen Programmen führt. Deshalb ist es in der Regel sinnvoller, wenn man als Parameter eine Referenz auf ein konstantes Objekt deklariert:

```
struct T2
{ void memberfunktion(const T2&);  // Meist besser
};
```

Andererseits kann eine Member-Funktion ein Objekt ihres Klassentyps als Ergebnis zurückgeben:

```
struct T3
{ T3 memfunkt();// OK
};
```

3.1.2.2 Member-Funktionen (Methoden) und konstante Objekte

Da wir gerade beim Thema "const" sind: "this" zeigt ja normalerweise auf ein unqualifiziertes Klassenobjekt, was natürlich Probleme bereitet, wenn man eine solche Funktion auf einem als "const" qualifizierten Objekt aufrufen würde, denn die Memberfunktion könnte das Objekt über "this" beliebig verändern. Deshalb kann man den Typ, auf den "this" zeigt, auf etwas unkonventionelle Weise verändern, indem man nämlich "const" oder "voliatile" an die Funktionsdeklaration anhängt:

```
struct Quali
{ int Member;
  void normal();
  void konstant() const;  // d. h. Objekt wird nicht verändert
};

void Quali::normal()
{ Member = 42;  }       // OK

void Quali::konstant() const
{ Member = 26731;  } // ERROR, "Member" ist hier "const"

void main()
{ Quali q1;
  const Quali q2;

  q1.normal();     // OK
  q1.konstant();// OK

  q2.normal();     // ERROR, "q2" ist "const", "normal" aber nicht!
  q2.konstant();// OK   }
```

Allgemein empfiehlt es sich, mit "const"-Qualifizierungen nicht zu geizen und jede Member-Funktion, die ihr Objekt nicht verändert, als "const" zu deklarieren.

3.1.2.3 Inlining von Member-Funktionen

Member-Funktionen können als "inline" deklariert werden:

```
struct Klasse1
{ int i;
  inline void set_i(int);
  inline int get_i();
};

void Klasse1::set_i(int j)   // "inline" muß man nicht nochmal
{ i = j; }                          // setzen, darf man aber!
```

```
int Klasse1::get_i()
{ return i; }
```

Das ist natürlich eine ganze Menge Schreibaufwand für zwei triviale Minifunktionen, weshalb man das auch abkürzen kann: Wenn die Funktionsdefinition direkt in die Klasse hineingeschrieben wird, gilt die Funktion automatisch als `"inline"`:

```
struct Klasse1
{ void set_i(int j)  // Automatisch "inline"
  { i = j;
  }
  int get_i()          // Das auch
  { return i;
  }

  int j;
};
```

Solche `"inline"`-Definitionen werden zuerst nur syntaktisch analysiert und erst am Ende der Klassendefinition auf Semantik getestet und wirklich definiert. Deshalb können solche Funktionen scheinbar auf Namen zugreifen, die noch nicht deklariert sind, wie es z. B. oben mit `"i"` geschehen ist.

Sie denken, das Beispiel oben sei ziemlich konstruiert und sinnlos? Denkste, so etwas benutzt man tatsächlich des öfteren, dann nämlich, wenn ein Member `"privat"` ist und man „von außen" aus Sicherheitsgründen nur kontrolliert durch derartige Funktionen darauf zugreifen können soll, was wie immer eine elegante Überleitung zum folgenden Abschnitt darstellt:

3.1.3 Klassen und Zugriffsrechte

Wie zuvor bereits wiederholt angedeutet, unterstützt C++ das Konzept des „Information Hiding" durch unterschiedliche Zugriffsrechte auf Class-Member. Dafür gibt es zunächst die beiden Schlüsselwörter `"private"` und `"public"`, z. B.

```
struct Namensliste
{ private:
    Namensliste *link;
  public:
    void Einfueg (Namensliste &vorgaenger);
    char Vorname[20], Nachname[20];
};

void Namensliste::Einfueg (Namensliste &vorgaenger)
{ link = vorgaenger.link;
  vorgaenger.link = this;
}

Namensliste nl;
```

```
#include <stream.h>

void main()
{ nl.link = 0;              // ERROR
  cout « nl.Vorname; // OK
}
```

Die Memberfunktion `"Einfueg"` darf auf alle Member der Struktur zugreifen, einschlielich des privaten Members `"link"`, der so etwas wie einen Verbindungszeiger einer einfach verketteten Liste darstellen soll. Wenn dagegen die Funktion `"main"`, die kein Member der Klasse `"Namensliste"` ist, an `"link"` rumfummeln will, kloppt ihr der Compiler auf die Pfoten.

Bei diesem Konzept der Zugriffskontrolle sind zwei Dinge bemerkenswert:

- Es handelt sich wirklich um eine Prüfung auf Rechte und nicht um eine variable Sichtbarkeit. Bei `"nl.link"` in `"main"` ist der Bezeichner durchaus sichtbar, und der Compiler weiß, was gemeint ist, so daß MaxonC++ hier durchaus den entsprechenden Code erzeugt. Es wird lediglich gewarnt, daß `"main"` auf diesen Member nicht zugreifen darf.
- Die Zugriffskontrolle bezieht sich grundsätzlich auf Bezeichner, nicht etwa auf Objekte:

```
struct Beispiel
{ private:
    int i;
  public:
    void rumfummeln(Beispiel*);
};

Beispiel b1, b2;

void Beispiel::rumfummeln(Beispiel *bp)
{ bp->i = 26731;
}

void main()
{ b1.rumfummeln(&b2);
}
```

Im Beispiel wird die Member-Funktion `"rumfummeln"` auf `"b1"` mit einem Zeiger auf `"b2"` als Argument aufgerufen, so daß `"this"` auf `"b1"`, der Parameter `"bp"` aber auf ein ganz anderes Objekt zeigt. Trotzdem darf `"rumfummeln"` an dem privaten Member `"i"` dieses völlig anderen Objekts 'rumfummeln, und ebenso dürfen alle Objekte einer Klasse unbeschränkt auf alle anderen Objekten derselben Klasse zugreifen.

Es ist natürlich egal, in welcher Reihenfolge man die privaten und die öffentlichen Member einer Klasse deklariert. Nach dem Schlüsselwort `"struct"` ist der Zugriffsmodus als Default `"public"` - das muß ja auch so sein, denn sonst wäre C++ ja nicht mehr zu C kompatibel. Aber es gibt daneben

auch noch das Schlüsselwort `"class"`, das (fast) identisch mit `"struct"` ist, mit einem Unterschied: bei `"class"` ist `"private"` der voreingestellte Zugriffsmodus, z. B.

```
class Beispiel
{    int i;       // Ist jetzt automatisch "private"
  public:
    void rumfummeln(Beispiel*);
};
```

Ansonsten ist eine `"class"` absolut identisch mit einer `"struct"`. Im folgenden werde ich hauptsächlich `"class"` verwenden, ganz einfach deshalb, weil das so schön objektorientiert klingt und dadurch total hip ist.

Bei überladenen Funktionsnamen dürfen die einzelnen Funktionen durchaus unterschiedliche Zugriffsrechte besitzen:

```
class C
{    void f(int);
  public:
    void f(double);
} c1;

void main()
{ c1.f(1);       // ERROR
  c1.f(1.0);     // OK
}
```

Hier sieht man noch einmal, daß die Zugriffskontrolle in C++ nicht über Sichtbarkeit, sondern über eine tatsächliche Rechte-Prüfung geschieht. Die Funktion `"f(int)"` ist in `"main"` sichtbar, so daß der Compiler beim ersten Funktionsaufruf auch erkennt, daß diese Funktion gemeint ist. Wäre sie nicht sichtbar, würde er das Argument `"1"` einfach nach `"double"` wandeln und die gerade einzig sichtbare, öffentliche Funktion aufrufen.

Übrigens gibt es noch einen dritten Zugriffsmodus namens `"protected"`, der aber nur im Zusammenhang mit Vererbung nützlich und sonst mit `"private"` identisch ist. `"protected"` wird in 3.2.2 näher beschrieben.

3.1.4 No Scope, no hope!

Es ist leider wieder einmal an der Zeit, etwas zur Gültigkeit von Namen zu sagen. Wie Sie sicher schon mitbekommen haben, hat jede Klasse ihren eigenen Scope (Gültigkeitsbereich). In C++ ist das allerdings ein „vollständiger" Scope, während in C nur die Bezeichner der Member darin lagen. Dieser Sachverhalt hat einige unangenehme Konsequenzen, z. B. das kanonische Beispiel, das schon an anderer Stelle dieses Manuals zitiert wurde:

```
class X
{ class Y *ypern;    // 1914
};
```

```
class Y
{ int Schmonz;        // ...
}
```

Laut Standard-C++ sind die Klasse "Y", die in "X" referiert wird, und die globale Klasse "Y" absolut verschieden, aber ich erwähnte bereits, daß MaxonC++ solche Fälle beherrscht. Andererseits hat diese Scope-Regelung auch positive Seiten: Man kann "typedef"-Namen und "enum"-Typen deklarieren, die ausschließlich innerhalb einer Klasse sichtbar sind:

```
class Geheim
{ public:
     typedef char *strptr;
     strptr Vorname, Nachname;
     void f();
};

strptr NochEinName;   // ERROR

void Geheim::f()
{ strptr x1;              // OK
                               // usw...
}
```

Der Bezeichner "strptr" liegt im Scope der Klasse "Geheim" und ist deshalb auf Dateiebene nicht sichtbar, wohl aber in der Definition der Member-Funktion "f". Man kann solche Bezeichner aber von außen sichtbar machen, und zwar mit dem Scope-Operator "::", den wir dazu auch schon bei Definitionen von Member-Funktionen benutzen:

```
class Geheim
{ public:
     typedef char *strptr;
     // usw.
};

Geheim::strptr UndNochEinName;    // So geht's!
```

Natürlich gelten hier wieder die bekannten Zugriffsregeln: Wäre "strptr" als privat deklariert gewesen, würde der Compiler wieder eine entsprechende Warnung ausgeben.

Wie bei allen ineinander verschachtelten Scopes, können auch in einer Klasse Bezeichner höherer Ebenen überdeckt werden. Dann kann man mit "::" ohne vorangestellten Klassennamen gezielt Bezeichner der Dateiebene ansprechen:

```
int i;

class S
{ public:
     int i;
     void f();
};
```

```
void S::f()
{ i = 1;          // Entspricht "this->i"
  S::i = 2;    // Das auch
  ::i = 3;     // Dies ist das globale "i"
}
```

Einen Namen mit einem `"::"` bezeichnet man auch als „qualifiziert", was aber nichts mit den Typ-Qualifikationen `"const"` und `"volatile"` zu tun hat.

3.1.5 Friends

Das mit den unterschiedlichen Zugriffsrechten ist zwar schön und gut, kann einem aber auch ganz gewaltig auf die Nerven gehen. Betrachten wir wieder einmal das Telefonlisten-Programm. Hier ist es sicher sinnvoll, wenn die beiden Verbindungszeiger der Klasse `"Eintrag"` privat sind, denn den „Benutzer" dieser Listen soll es möglichst nicht interessieren, wie die Listenstruktur implementiert ist. Andererseits wird man Operationen wie `"Einfuegen"` wohl als Member-Funktionen der Klasse `"Liste"` definieren, und die müssen ja normalerweise auf die Link-Zeiger der Listeneinträge zugreifen. Es fehlt also bisher ein Sprachkonstrukt, mit dem man so etwas deklarieren kann wie „Diese Bezeichner sind privat, aber die Funktion `xxx` darf sie trotzdem benutzen", und genau dazu dienen `"friend"`-Deklarationen:

```
class C
{ int member;       // Privat!
  friend void f();
};

C c1;

void f()
{ c1.member++;      // OK
}

void g()
{ c1.member++;      // Fehler
}
```

In der Klasse `"C"` wird die Funktion `"f"` als „Freund" der Klasse deklariert, weshalb sie Zugriff auf alle privaten Member von `"C"` besitzt. `"g"` ist kein `"friend"`, also bemäkelt der Compiler hier wie gewohnt einen Zugriffsfehler.

Natürlich kann eine Funktion `"friend"` beliebig vieler Klassen sein. Sie ist nicht Bestandteil der Klasse (wie eine Member-Funktion) und zählt eigentlich auch nicht zu den „Eigenschaften" der Klasse, sondern hat umgekehrt selbst eine Eigenschaft, nämlich die vollen Rechte an der Klasse, deren Freund sie ist. In ihr ist auch der Scope jener Klasse nicht unmittelbar sichtbar.

Bei überladenen Funktionen bezieht sich die `"friend"`-Eigenschaft ausschließlich auf die Instanz, die als `"friend"` deklariert wurde:

```
class S
{ int member;
  friend void f();
  friend void f(int);
} s1;

void f()
{ s1.member = 1;
}           // OK

void f(int i)
{ s1.member = i;
}           // OK

void f(char c)
{ s1.member = c;
}           // ERROR, kein "friend" von "S"
```

Interessanterweise werden an dieser Stelle die sonst so strikten Scope-Regeln durchbrochen: Die Funktion `"f"` wird bei der `"friend"`-Deklaration, also innerhalb der Klassendefinition, zum ersten Mal erwähnt, gehört aber trotzdem in den äußeren Scope.

Wenn man einer Member-Funktion einer anderen Klasse die `"friend"`-Eigenschaft zugesteht, wird das seltsamerweise nicht so locker wie bei globalen Funktionen gehandhabt:

```
class T;

class S
{ friend void T::f();      // ERROR: "f" ist unbekannt
};

class T
{ void f();
};
```

In diesem Fall muß die `"friend"`-Funktion tatsächlich schon in ihrem eigenen Scope deklariert worden sein, etwa so:

```
class T
{ void f();
};

class S
{ friend void T::f();      // In dieser Reihenfolge OK
};
```

Das führt zu unangenehmen Situationen, wenn zwei Klassen ihren Funktionen gegenseitig den `"friend"`-Status gönnen wollen:

```
class T;

class S
```

```
{ void sfun();
  friend void T::tfun();     // Error
};

class T
{ void tfun();
  friend void S::sfun();
};
```

Was tun? Einfaches Vertauschen der Klassendefinitionen hilft uns hier offensichtlich nicht aus der Klemme, sondern nur ein neues Feature: Man darf auch eine ganzen Klasse einschließlich aller ihrer Member-Funktionen als Freund deklarieren:

```
class S
{ void sfun();                  // Privat!
  typedef char *strptr; // Privat!
  friend class T;             // Ganze Klasse "T" ist Freund
};

class T
{ S::strptr tmember;       // OK, "T" ist friend von "S"
  void tfun();
};

void T::tfun()
{ S s1;
  s1.sfun();                    // OK, Freund von "S"
}
```

Man beachte dabei, daß Freundschaft in C++ im allgemeinen eine recht einseitige Angelegenheit ist: Im Beispiel ist `"T"` ein Freund von `"S"`, aber nicht umgekehrt.

3.1.6 Statische Member

Alles, was mit einer Klasse zu tun hat und ausschließlich von den Member-Funktionen der Klasse benutzt wird, sollte man auch als Member deklarieren und so im Scope der Klasse verstecken. Dabei kommt es allerdings vor, daß ein Objekt oder eine Funktion nicht sinnvoll an ein Objekt gebunden werden kann, sondern eigentlich eher global ist. Um das Gesülze konkret zu machen: Die Klasse `"Person"`, die einen Namen nebst Adresse enthalten soll, hat auch eine Funktion namens „Drucken", die die Daten auf den Drucker ausgeben soll. Dazu braucht sie aber einen Filedeskriptor, der (aus welchen Gründen auch immer) ausschließlich in dieser Klasse benutzt wird und folglich auch dort hinein gehört. Es wäre aber nicht sinnvoll, in jeden einzelnen Datensatz diesen Deskriptor aufzunehmen, denn das wäre ja Speicherverschwendung.

Außerdem braucht man wenigstens noch eine Funktion, die die Druckerdatei öffnet, was natürlich nicht von einem konkreten Objekt abhängig ist und folglich keinen `"this"`-Zeiger erfordert.

Normalerweise würde man das so implementieren:

```
#include <stdio.h>              // Für Dateien und so'n Zeugs

class Person
{ public:
     char Name[40], Adresse[50];
     void Drucken();
};

FILE *DruckerDatei;             // Filedeskriptor für Drucker

void DruckerOeffnen()
{ DruckerDatei = fopen("prt:", "w"); // Macht Drucker klar
}

void Person::Drucken()
{ fprintf(DruckerDatei, "%s\n", Name);
  fprintf(DruckerDatei, "%s\n", Adresse);
}
```

Mit dem Schlüsselwort `"static"` kann man nun sowohl die Variable `"DruckerDatei"` als auch die Funktion `"DruckerOeffnen"` in den Scope von `"Person"` verlegen, ohne daß sie an ein Objekt gebunden wären:

```
#include <stdio.h>              // Für Dateien und so'n Zeugs

class Person
{ public:
     static FILE *DruckerDatei;
     static void DruckerOeffnen();
     char Name[40], Adresse[50];
     void Drucken();
};

FILE* Person::DruckerDatei;

void Person::DruckerOeffnen()
{ DruckerDatei = fopen("prt:", "w"); // Macht Drucker klar
}

void Person::Drucken()
{ // genau wie oben ...
}
```

Auch wenn die beiden Member mit dem Schlüsselwort `"static"` deklariert werden, haben sie trotzdem externe Linkage, können also von anderen Modulen importiert und benutzt werden. Wir haben es also mit einer weiteren Bedeutung dieses ohnehin schon überladenen Wortsymbols zu tun. Bei einem Datenmember wird sogar `"extern"` als Speicherklasse angenommen, d. h. der Compiler geht zunächst davon aus, daß diese Variable von woanders importiert werden muß. Erst durch die erneute Deklaration von `"Person::DruckerDatei"` außerhalb der Klassendefinition wird oben ein entsprechendes Datenobjekt erzeugt.

Der Zugriff auf einen statischen Member erfolgt innerhalb des Scopes der Klasse (also insbesondere aus ihren Member-Funktionen heraus) wie gewohnt, also einfach durch ihren Namen. Von „außerhalb" (und natürlich auch von innerhalb, wenn man das unbedingt will) hat man die Auswahl: Erstens darf man sie wie normale, nicht-statische Member über ein Objekt der Klasse benutzen:

```
Person P1;

void main()
{ P1.DruckerDatei = 0;
    P1.DruckerOeffnen();
}
```

Zweitens sind statische Member bekanntlich nicht an ein bestimmtes Objekt gebunden, weshalb man sie auch über qualifizierte Bezeichner aufrufen kann:

```
void main()
{ Person::DruckerDatei = 0;
    Person::DruckerOeffnen();
}
```

Es versteht sich von selbst, daß auch hier die üblichen Zugriffskontrollen durchgeführt werden, d. h. `"main"` darf private statische Member von `"Person"` nicht benutzen.

3.2 Vererbungslehre

3.2.1 Abgeleitete Klassen

3.2.1.1 Ein erstes Beispiel

Das Konzept der Vererbung ist das zentrale Element der objektorientierten Programmierung, und es ist an der Zeit, es hier endlich vorzustellen.

Eine Klasse von Objekten, wie Sie sie bisher kennengelernt haben, repräsentiert die Eigenschaften eines bestimmten Konzepts, einer Idee, vielleicht auch eines Objekts der realen Welt. Dabei macht man jedoch schnell die Beobachtung, daß unterschiedliche Klassen zum Teil identische Eigenschaften haben, daß es oft so etwas wie eine Klassenhierarchie gibt. Ein vielzitiertes Beispiel: Die Klasse `"Angestellter"` soll die Beschäftigten einer Firma implementieren, etwa so:

```
class Angestellter
{ private:
    // Irgendwelche implementatorische Details
  public:
    char Vorname[20], Nachname[20];
    unsigned int Gehalt;
    // usw..
};
```

Nun gibt es natürlich unterschiedliche Arten von Angestellten; in unserer Firma interessieren uns vor allem Entwickler, Verkäufer und Manager, wobei die Entwickler sich wiederum in Programmie-

rer und Hardwareentwickler unterteilen (Leute für die Produktion brauchen wir nicht, denn wir lassen sowieso in Taiwan produzieren, und der Pförtner hat normalerweise keine besonders aufregenden Eigenschaften und ist deshalb ein ganz normaler Angestellter, wie ihn die gleichnamige Klasse definiert). Jeder Entwickler sollte an einem Projekt arbeiten, deshalb braucht die Klasse `"Entwickler"` einen zusätzlichen Eintrag für den Projektnamen, während sie sonst alle anderen Eigenschaften der Klasse `"Angestellter"` übernehmen („erben") soll. Das geht in C++ ganz einfach:

```
class Entwickler : public Angestellter
{ public:
     char Projekt[25];
};
```

Die Klassendefinition beginnt mit einem Doppelpunkt `":"` und dem Namen der Klasse `"Angestellter"`, was ganz einfach besagt, daß die neue Klasse `"Entwickler"` alle Eigenschaften der Klasse `"Angestellter"` erben soll. Man bezeichnet `"Angestellter"` als `"Basisklasse"` von `"Entwickler"`, während umgekehrt `"Entwickler"` eine „abgeleitete Klasse" ist. In anderen Programmiersprachen nennt man den gleichen Sachverhalt „Subklasse" und „Superklasse", was sich aber als nicht sehr glücklich erwies, denn jeder, aber wirklich jeder verwechselt ständig diese beiden Begriffe.

Das `"public"` besagt, daß die abgeleitete Klasse sich ihrer Herkunft nicht schämt und deshalb die Basisklasse in ihrem öffentlichen Teil liegen soll. Man könnte hier natürlich auch `"private"` oder `"protected"` angeben, oder auch nichts - der Default ist `"private"`.

Hinter der Basisklassen-Deklaration folgt eine ganz normale Strukturdefinition, welche die Eigenschaften beschreibt, die die Klasse `"Entwickler"` zusätzlich zu ihren ererbten haben soll.

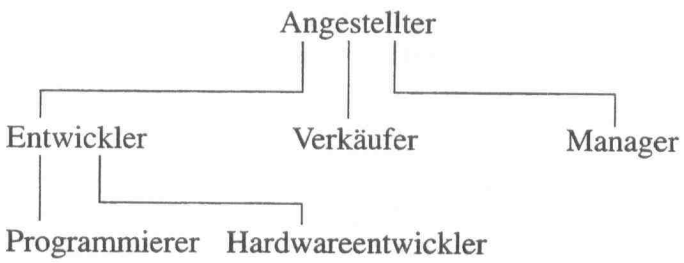
Analog leiten wir die Klassen `"Verkaeufer"` und `"Manager"` ab:

```
class Verkaeufer : public Angestellter
{ public:
     int Umsatz;    // Damit wir wissen, wen wir feuern müssen
     int Ort;         // Nummer der Vertriebs-Aussenstelle
};

class Manager : public Angestellter
{ public:
     char KFZ[10]; // Kennzeichen des Dienstwagens
     int Spesenkonto;
};
```

Das Spielchen läßt sich beliebig weiter treiben: Von `"Entwickler"` leiten wir `"Programmierer"` ab.

```
class Programmierer : public Entwickler
{ public: // Bitfeld mit den Sprachen, die er beherrscht
     struct
       { int C:1, Cplusplus:1, Assembler:1, Smalltalk:1 }
       Sprachen; };
```

Die Klasse für die Lötkolben-Aristen erspare ich mir hier, es dürfte wohl auch so klargeworden sein, wie das mit dem Erben und Ableiten geht. Das Resultat ist eine Klassenhierarchie, die man gern mit so komischen Bäumen (komisch deshalb, weil die Wurzel oben ist) veranschaulicht:



Hübsch, nicht? Jedenfalls schulde ich Ihnen noch ein paar Worte darüber, was das Erben von Eigenschaften in der Praxis heißt.

Überall da, wo eine Basisklasse stehen soll, darf auch eine abgeleitete Klasse benutzt werden, z. B.

```
void main()
{ Programmierer P1;

  P1.Sprachen.Cplusplus = 1;

  P1.Gehalt = 5432;        // Eigentlich Member von "Angestellter"

  Entwickler E1 = P1;   // "P1" wird als "Entwickler" betrachtet
                              // und kopiert
}
```

Wie Sie sehen, ist das mit der Vererbung gar nicht so tiefsinnig, wie man manchmal glaubt. Natürlich werden nicht nur die Daten-Member, sondern auch die Member-Funktionen vererbt:

```
class S
{ int i;
  public:
    int get_i();
};

int S::get_i()
{ return i;
}

class T: public S
{ // usw.
};

void main()
```

```
{ T t1;
  int j = t1.get_i();
}
```

Dabei ist es natürlich nicht erforderlich, `"T::get_i"` noch einmal zu definieren, denn es wird wieder `"S::get_i"` verwendet.

3.2.1.2 Mehrfach-Vererbung und andere Features

Ich erwähnte ja bereits, daß die Symbole `"struct"` und `"class"` weitgehend identisch sind. Folglich kann man durchaus auch mit Strukturen vererben, allerdings ist bei `"struct"` der Zugriffsmodus per Default `"public"`, so daß man das nicht mehr extra angeben muß. Unionen und Bitfelder können dagegen keine Basisklassen besitzen:

```
struct S
{ int i, j;
};

struct T : S
{ int k:4, l:7;
};                  // ERROR

union U : S    // ERROR
{ char c; double d;
};
```

Außerdem muß jede Klasse wirklich definiert sein, bevor man von ihr etwas ableitet:

```
class C;

class D: C        // ERROR
{                     // usw.
};
```

Dadurch ist auch ausgeschlossen, daß zwei Klassen voneinander abgeleitet werden, was ja auch wenig sinnvoll ist.

Zu den neuen Features des 2.0-Standards gehört die Mehrfach-Vererbung. Wie der Name schon andeutet, wird dabei eine Klasse von mehreren Basisklassen gleichzeitig abgeleitet, etwa so:

```
class C1
{ int c1;
};

class C2
{ int c2;
};

class C: public C1, private C2
{ int c;
};
```

Jede Klasse kann beliebig viele Basisklassen haben, aber jede nur einmal:

```
class C { };

class D: C, C    // ERROR
{ };
```

Die Zugriffs-Spezifikationen beziehen sich immer nur auf eine einzelne Basisklasse: Bei

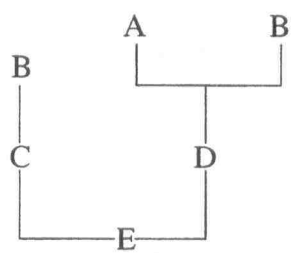
```
class D: public B, C {};
```

hat `"C"` den Default-Modus, also `"private"`.

Mehrfach-Vererbung funktioniert zunächst auch so, wie man es erwartet, allerdings ist einiges komplizierter als bei Einfach-Vererbung. Man kann jetzt wieder einen Baum malen, der diesmal aber keine Klassenhierarchie, sondern die Basisklassen einer einzelnen Klasse darstellt:

```
struct A { int ia; };
struct B { int ib; };
struct C: B { int id;};
struct D: A, B { };
struct E: C, D { int ie;  };
```

ergibt folgenden Graphen für die Klasse `"E"`:



Wie Sie unschwer erkennen, tritt die Klasse `"B"` hier doppelt auf, und das ist dann in der Realität auch so. Der Compiler weiß jetzt nicht mehr, was er tun soll, wenn von der Klasse `"E"` aus auf den Member `"ib"` zugegriffen wird, denn den gibt es ja gleich zweimal:

```
void main()
{ E e1;
  e1.ib = 42;    // ERROR
}
```

Außerdem kann es ja auch vorkommen, daß zwei Basisklassen Member mit identischen Namen vererben:

```
class C1
{ public:
    int x;
};
```

```
class C2
{ public:
     char x;
};

class Der: public C1, public C2
{ double usw;
};

void main()
{ Der d;
  d.x = 0;     // ERROR: welches "x"?
}
```

Dem kann man aber durch Qualifizierungen abhelfen:

```
void main()
{ Der d;
  d.C1::x = 0;
}
```

Wie Sie sehen, bereitet Mehrfach-Vererbung bisweilen seltsame Probleme.

3.2.1.3 Vererbung und Typregeln

Wie bereits angedeutet, kann eine abgeleitete Klasse überall dort stehen, wo ein Element einer ihrer Basisklassen erwartet wird. Das trifft auch auf Pointer-Typen zu: Bei dem Beispiel

```
class B
{ int b;
};

class C : public B
{ int c;
};

B b1;
C c1;
```

kann ein Zeiger auf `"C"` ohne weiteres in einen Zeiger auf `"B"` umgewandelt werden:

```
B* bp = &c1;
```

Vernünftigerweise wird garantiert, daß `"bp"` hier auf den Teil von `"c1"` zeigt, der der Basisklasse entspricht, also wirklich ein `"B"` ist. In der umgekehrten Richtung geht das im Prinzip auch, allerdings muß man hier casten:

```
C* cp = (C*) &b1;
```

In dieser Form ist das natürlich hanebüchen, denn `"b1"` ist ja kein Objekt der Klasse `"C"`, und besitzt insbesondere keinen Member `"c"`. Trotzdem ist diese Typkonvertierung erlaubt, denn oft ist

sie auch sinnvoll, etwa bei der Rück-Umwandlung von Pointern. Wenn das Programm sich sicher ist, daß der Zeiger `"bp"` nicht nur auf ein `"B"`, sondern auf den `"B"`-Teil eines `"C"` zeigt, kann man ihn wieder umwandeln,

```
C* cp2 = (C*) bp;
```

wobei wieder garantiert wird, daß diese Konvertierung sinnvoll und richtig geschieht, d. h. wenn `"bp"` wirklich auf den `"B"`-Teil eines `"C"`-Objekts zeigt, ist `"cp2"` anschließend ein Zeiger auf dieses Objekt der Klasse `"C"`.

Natürlich geht das entsprechend auch über mehrere „Generationen", d. h. ein Zeiger auf eine Klasse kann direkt in eine Basisklasse der Basisklasse ihrer Basisklasse verwandelt werden, und mit einem Cast geht es entsprechend umgekehrt. Natürlich wird auch hier bei Mehrfach-Vererbung geprüft, ob die Basisklasse eventuell doppelt vorkommt:

```
struct A {  int ai;};
struct B : A {int bi;};
struct C : A {int ci;};
struct D : B, C {  int egalwas;  };

D d;
A *ap1 = &d;          // ERROR: "A" kommt in "D" mehrfach vor
A *ap2 = (B*) &d;  // So geht's
```

Die letzte Initialisierung ist möglich, weil hier der Zeiger auf `"d"` zuerst in einen Zeiger auf `"B"` umgewandelt wird, was eine eindeutige Operation darstellt, und erst dann nach `"A*"` konvertiert, was ebenfalls eindeutig ist. Man muß dem Compiler also manchmal sagen, wie er sich durch einen Klassen-Baum hangeln soll.

Völlig analog gilt das oben Gesagte für Referenzen:

```
class B
{ int b; };

class C : public B
{ int c; };

B b1;
C c1;

B& br = c1;
C& cr = (C&) b1;
```

Schon in 3.2.1.1 wurde darauf hingewiesen, daß man Objekte auch direkt in ihre Basisklassen verwandeln kann, z. B.

```
class B
{ int b; };

class C : public B
```

```
{ int c; };

C c1;
B b1 = c1; // Nimm' den B-Teil von c1 und weise ihn b1 zu
```

Es versteht sich, daß bei Mehrfach-Vererbung auch hier geprüft wird, ob die Basisklasse eindeutig ist.

Der umgekehrte Fall,

```
C c2 = (C) b1;   // ERROR
```

ist glücklicherweise nicht erlaubt, denn hier weiß der Compiler, daß `"b1"` ein `"B"`-Objekt ist und garantiert nicht zu einem `"C"`-Objekt gehört.

3.2.2 Scoperegeln und Zugriffskontrolle bei Vererbung

3.2.2.1 Noch mehr Details

Bekanntlich hat jede Klasse ihren eigenen Scope, und das gilt auch bei Vererbung. Eine abgeleitete Klasse kann deshalb problemlos Namen aus ihren Basisklassen überdecken:

```
class Base
{ public: int member;
};

class Derived : Base
{ public: void member(char*);
};
```

Im Zweifelsfall kann man wie gewohnt durch Qualifizierungen klarstellen, was gemeint ist:

```
void main()
{ Derived d;
  char *str = "Niemand erwartet die spanische Inquisition!";

  d.Base::member = 26731;
  d.Derived::member(str); // "d.member" hätte hier auch gereicht
}
```

Trotzdem gibt der Compiler beim obigen Programm eine Fehlermeldung aus, denn er ist der Meinung, daß die Funktion `"main"` nicht auf den Namen `"member"` aus `"Base"` zugreifen darf. Das kommt etwas unerwartet, denn schließlich ist `"member"` in `"Base"` doch eigens als `"public"` deklariert worden. Des Rätsels Lösung ist, daß `"Base"` eine private Basisklasse von `"Derived"` ist (Sie erinnern sich: hinter `"class"` ist der Zugriffsmodus defaultmäßig `"private"`). Das bedeutet, daß alle Member aus der Basisklasse `"Base"` in `"Derived"` privat sind, ja sogar die auf Basisklasse als solche von außen nicht zugegriffen werden kann:

```
Derived d;
Base * bp = &d;     // ERROR: Basisklasse ist privat!
```

Dieses Konzept ist auf den ersten Blick zwar eigenartig, aber doch schlüssig: Wenn der Umstand, daß eine Klasse von einer anderen abgeleitet ist, zum implementatorischen Teil gehört, ist es natürlich sinnvoll, die Basisklasse zu „verstecken" und jeden Zugriff von der Benutzerseite zu unterbinden.

3.2.2.2 Der Zugriffsmodus „protected"

Bisher (und das war auch im „1.0-Standard" so) haben wir nur zwischen den internen Bereichen einer Klasse (`"private"`) und der Schnittstelle zur Außenwelt (`"public"`) unterschieden. Abgeleitete Klassen gehören in diesem Sinne zur „Außenwelt" ihrer Basisklassen, denn eine abgeleitete Klasse kann natürlich nicht auf die privaten Member ihrer Basisklasse zugreifen. Das ist sinnvoll, aber nicht wirklich befriedigend. Kurz gesagt, es entstand im Laufe der Zeit das Bedürfnis, einen Unterschied zwischen abgeleiteten Klassen und Code, der wirklich außerhalb der Klasse liegt, zu differenzieren. Das Ergebnis dieser Überlegungen war der Zugriffsmodus `"protected"`, der dann in den „2.0-Standard" aufgenommen wurde.

`"protected"` wird genau wie `"public"` und `"private"` benutzt. Auf einen Bezeichner mit diesem Zugriffsmodus können abgeleitete Klassen zugreifen, sonst gilt er als `"private"`. Ein Beispiel:

```
class Klasse
{ protected:
    int imember;
};

class Abgeleitet : public Klasse
{ void set(int i)
  { imember = i;            // OK, da abgeleitete Klasse
  }
};

void main()
{ Klasse k;
  k.imember = 3718847;     // ERROR
}
```

Das ist ein ganz nützliches Feature, wenn man Klassen hat, die mehr oder weniger ausschließlich dafür vorgesehen sind, daß von ihnen weitere Klassen abgeleitet werden.

Da wir jetzt schon drei Zugriffsarten haben, ist es wohl an der Zeit, noch einmal klarzustellen, welche Auswirkungen der Zugriffsmodus einer Basisklasse hat:

Wenn die Basisklasse, wie oben geschehen, als `"public"` deklariert wird, darf von jeder Programmstelle auf die Basisklasse zugegriffen werden, d. h. die Eigenschaft, daß die Klasse von einer anderen abgeleitet ist, ist kein implementatorisches Detail, sondern öffentlich. Natürlich behalten die Member, die als `"private"` oder `"protected"` deklariert sind, diesen Modus auch bei.

Eine Basisklasse, die `"private"` ist, ist auch nicht weiter schwer zu verstehen: Alle Member bzw. Basisklassen dieser Basisklasse sind absolut privat, sogar die Tatsache, daß abgeleitet wurde, ist für jeden Zugriff von außen tabu, so daß man z. B. keinen Zeiger auf die Klasse in einen Zeiger auf die

Basisklasse verwandeln kann - nur die abgeleitete Klasse selbst (bzw. ihre Member-Funktionen und Friends) dürfen das. Und wenn last not least der Zugriffsmodus der Basis `"protected"` ist, hängt es von Standpunkt des Betrachters ab, ob `"private"` oder `"public"` gilt: In der abgeleiteten Klasse wirkt diese Basisklasse wie `"public"`, für Klassen, die wiederum davon abgeleitet werden, bleibt der Zugriffsmodus `"protected"`, und für alles, was nicht zu diesen Klassen oder ihren Friends gehört, ist keinerlei Zugriff auf die Basisklasse erlaubt, so als wäre sie `"private"`. Aber im Grunde genommen hätte ich mir diese ganzen Regeln auch sparen können, denn wenn man einmal scharf darüber nachdenkt, ist die ganze Zugriffsregelung intuitiv völlig klar.

Daran ändert auch das folgende Faeture nichts wesentliches:

3.2.2.3 Zugriffs-Deklarationen

Für manche Sicherheitsfetischisten (Vertrauen ist gut, Kontrolle besser) sind die bisherigen Regelungen für die Zugriffsrechte noch nicht umfangreich genug, und deshalb gibt es auch für sie ein nettes kleines Spielzeug: Zugriffs-Deklarationen für abgeleitete Klassen.

Man stelle sich folgende Situation vor: Sie wollen von einer Klasse ableiten und die Basisklasse als `"private"` oder `"protected"` vor unbefugten Zugriffen schützen, aber trotzdem den einen oder anderen Member aus der Basisklasse öffentlich zugänglich machen. Das folgende Programm illustriert, wie das geht:

```
class Bas
{ private:
    int a;
  protected:
    int b;
  public:
    int c, d;
};

class Der : private Bas
{ public:
    int e;
    Bas::c;
};

void main()
{ Der x;
  x.c = 42;      // Geht, da in "Der" public
  x.d = 4711;    // ERROR, private Basisklasse
}
```

Der Zugriff auf `"d"` über `"Der"` ist erwartungsgemäß verboten, denn die Basisklasse `"Bas"` ist privat. Dagegen kann `"c"` auch über `"Der"` benutzt werden, denn er wird dort ausdrücklich als öffentlich deklariert.

Wie Sie sehen, erfolgt eine solche Zugriffs-Deklaration ganz einfach über den Namen des Members ohne jegliche Typangabe. Der neue Zugriffsmodus muß derselbe sein, den der Member auch in der Basisklasse hatte, denn alles andere ist ziemlich sinnlos:

```
class B1
{ private:
    int i;
  public:
    int j;
};

class C1 : private B1
{ public:
    B1::i;      // ERROR
};

class C2: public B1
{ private:
    B1::j;      // ERROR
};
```

Der erste Fehler ist klar, man kann den Schutz eines Members nicht so ohne weiteres verringern, denn das würde ja das Ganze System der Zugriffs-Kontrolle ab absurdum führen, nach dem Motto: Wenn ein Member privat ist, leitet wir einfach eine Klasse ab und setzen uns die Rechte so, wie wir sie haben wollen. Der zweite Fehler ist auf den ersten Blick nicht so offensichtlich, denn was soll schlecht daran sein, einen Member sicherheitshalber privat zu machen? Der Haken ist nur, daß das ganz einfach sinnlos ist: Wenn man einen Objekt der Klasse `"C2"` hat, nimmt man einfach einen Zeiger darauf, wandelt diesen in einen Zeiger auf `"B1"` ab (geht, denn schließlich ist `"B1"` hier öffentliche Basisklasse) und greifen darüber auf `"j"` zu - alles null Problemo.

Da der Zugriffsmodus also nicht wirklich verändert werden kann, folgt daraus, daß Zugriffs-Deklarationen bei öffentlichen Basisklassen (wie `"C2"` im obigen Beispiel) nutzlos sind, denn hier behalten alle Member der Basisklasse ohnehin ihren alten Modus.

Einen eigentümlichen Effekt kann man bei Zugriffs-Deklarationen für überladene Funktionen beobachten: Da die Rechte hier ausschließlich über den Namen gesetzt werden, müssen alle Funktionen dieses Namens denselben Zugriffsmodus haben:

```
class Basis
{ private:
    int g();
    int g(char*);
    void f(int);
  public:
    void f(char);
};

class Klasse : private Basis
{ private:
    Basis::g;      // OK, beide "private"
```

```
  public:
    Basis::f;      // ERROR
};
```

Durch die "public"-Deklaration würden beide "f"-Funktionen in "Klasse" als öffentlich deklariert werden, aber das gibt natürlich Ärger, denn "f(int)" war ja vorher privat. Auch eine Deklaration als "private" würde nicht helfen, denn dann würde wiederum der Zugriffsmodus von "f(char)" verändert. Zugriffs-Deklarationen für überladene Funktionsnamen sind also nur erlaubt, wenn alle Funktionen (wie "g") den gleichen Zugriffsmodus haben.

3.2.3 Virtuelle Member-Funktionen

3.2.3.1 Ein Beispiel

Lassen wir uns zusammenfassen, was wir bisher an objektorientierten Features kennengelernt haben: Wir können Funktionen an Strukturen anbinden, haben eine Möglichkeit festzulegen, welcher Programmteil auf welchen Member zugreifen darf, und können Strukturtypen durch Vererbung erweitern oder auch zusammenfassen. Das ist alles sehr nützlich, aber irgendwie doch noch nicht so besonders schlau. Aber das kommt jetzt, aber hallo.

Angenommen, Sie haben einen Zeiger auf ein Objekt einer bestimmten Klasse. Dann wissen Sie ja bereits, daß dieser Zeiger in Wirklichkeit durchaus auf ein Objekt einer ganz anderen Klasse zeigen kann. Vielleicht erinnern Sie sich noch an das allererste Beispiel aus Abschnitt 3.2.1.1, an die Abgestellten und Manager und so weiter. Nehmen wir an, die einzelnen „Angestellten" sind in einer Liste angeordnet. Nun haben wir einen Zeiger auf ein solches Objekt und wollen gerne die Daten ausgeben, und zwar vollständig, und dazu müssen wir wissen, von welcher Klasse ein Objekt wirklich ist, also ob wir es mit einem Programmierer, Manager oder bloß einem einfachen Angestellten zu tun haben.

Es wird Sie vielleicht enttäuschen, daß es in C++ keine direkte Möglichkeit gibt, genau dieses festzustellen, denn dann müßte bei wirklich jedem Objekt in irgendeiner Form dessen Typ abgespeichert werden, und das ist erstens gar nicht so einfach und würde zweitens Speicherplatz kosten. Aber das ist eigentlich nicht so schlimm, denn normalerweise muß man nicht wirklich wissen, mit welcher Klasse man es zu tun hat, sondern nur, welche momentan relevanten Eigenschaften diese hat.

So, da Sie jetzt offenbar den vorherigen Satz in seiner ganzen Bedeutungsschwere verarbeitet haben, ist es langsam wieder an der Zeit, konkret zu werden (wer „A" sagt, muß auch „ngst" sagen). Also der Schlüssel dazu sind virtuelle Memberfunktion.

Eine virtuelle Memberfunkion sieht zuerst wie eine ganz normale Funktion aus, nur daß sie mit dem Schlüsselwort "virtual" deklariert wird:

```
#include <stream.h>

class Angestellter
{ public:
    char Vorname[20], Nachname[20];
```

```
    unsigned int Gehalt;
    virtual void Ausgabe();
};

void Angestellter::Ausgabe()
{ cout « Vorname « " " « Nachname « "\n";
  cout « "Gehalt: " « Gehalt « " DM\n";
}
```

Ganz normal ist diese Funktion aber keineswegs: In Wirklichkeit trägt der Compiler jetzt bei jedem Objekt der Klasse `"Angestellter"` einen Vermerk ein, daß immer dann, wenn auf diesem Objekt die Funktion `"Ausgabe"` aufgerufen wird, die Funktion `"Angestellter::Ausgabe"` genommen werden soll (vorerst können Sie sich das so vorstellen, als würde in jedes Objekt automatisch ein Zeiger auf diese Funktion eingetragen - die Realität ist ein wenig komplizierter, aber im Prinzip ist das so). Jetzt werden Sie sich fragen, was denn wohl sonst aufgerufen werden soll, wenn nicht `"Angestellter::Ausgabe"`? Nun, wir leiten jetzt die Klasse „Entwickler" ab, die eine eigene Ausgabefunktion desselben Namens tragen soll:

```
class Entwickler : public Angestellter
{ public:
    char Projekt[25];
    void Ausgabe();
};

void Entwickler::Ausgabe()
{ Angestellter::Ausgabe();
  cout « "arbeitet an: " « Projekt « "\n";
}
```

Die Klasse `"Entwickler"` hat ihre eigene Funktion `"Ausgabe"`, die zunächst die `"Ausgabe"`-Funktion aus der Basisklasse aufruft und dann noch den Namen des Projekts ausgibt. So weit scheint alles noch völlig normal, aber durch den Umstand, daß die Funktion `"Ausgabe"` denselben Namen trägt wie eine virtuelle Funktion in der Basisklasse, ist sie automatisch ebenfalls virtuell (man hätte hier genau so gut auch ein `"virtual"` hinzufügen können). Also erhält auch jedes Objekt der Klasse `"Entwickler"` einen Zeiger (bzw. so etwas ähnliches) auf die Funktion `"Entwickler::Ausgabe"`. Aber jetzt kommt der Trick: In Objekten der Klasse `"Entwickler"` wird auch der entsprechende Zeiger innerhalb ihrer `"Angestellter"`-Basisklasse auf diese Funktion gesetzt! Nehmen wir also an, wir haben einen Zeiger auf `"Angestellter"`, z. B. als Parameter einer Funktion:

```
void f(Angestellter *a)
{  a->Ausgabe();
}
```

Beim Aufruf `"a->Ausgabe"` hat der Compiler natürlich keine Ahnung, ob `"a"` nun auf einen Angestellten oder einen Entwickler zeigt. Deshalb schaut er nach, auf welche Funktion dort der Zeiger für die Funktion `"Ausgabe"` zeigt, und springt dahin, also entweder nach `"Angestellter::Ausgabe"` oder nach `"Entwickler::Ausgabe"`. Ohne virtuelle Funktionen wären die

„wahre" Klasse des Objekts `"*a"` ignoriert und ganz einfach `"Angestellter::Ausgabe"` ausgeführt worden.

3.2.3.2 Die Details

Es wurde oben behauptet, in C++ könne man nicht direkt feststellen, von welcher Klasse ein Objekt wirklich ist, wenn man bloß einen Zeiger bzw. eine Referenz darauf besitzt. Scheinbar hat der Compiler bei virtuellen Funktionen aber doch diese Möglichkeit. Was ist denn nun?

Bei einer virtuellen Funktion weiß das Programm keineswegs, mit welcher Klasse es zu tun hat, sondern besitzt lediglich Informationen darüber, welche Funktion aufzurufen ist, also, wie ich es oben bereits so schön schwülstig formulierte, welche dazu relevanten Eigenschaften das Objekt hat. Was der Unterschied ist? Nun, eine virtuelle Funktion muß keineswegs auf jeder nachfolgenden Stufe der Klassenhierarchie überdeckt werden:

```
class A
{ public:
     int ai;
     virtual void f();
};

class B: public A
{ int bi;};
```

Hier wird natürlich immer `"A::f"` aufgerufen, denn `"B::f"` gibt es ja nicht. Wenn wir weiter ableiten,

```
class C: public B
{ public:
     char ci;
     void f();
};

class D: public C
{   double dd; };

A *ap;
```

gibt es vier Klassen, aber nur zwei Möglichkeiten, was bei `"ap->f()"` aufgerufen wird: entweder `"A::f"` (bei Objekten der Klassen `"A"` und `"B"`) oder `"C::f"` (Klassen `"C"` und `"D"`). Also wird die Wahl der richtigen virtuellen Funktion beim Aufruf nicht anhand der wirklichen Klasse, sondern anhand der höchsten Klasse der Hierarchie, in der die Funktion überdeckt wird, getroffen. Das mag spitzfindig klingen, ist aber der Hauptunterschied in den objektorientierten Konzepten von C++ und Objective C. In Objective C kann man feststellen, von welcher Klasse ein Objekt ist, was in C++ nur mit hohem Aufwand möglich ist, dafür ist C++ wesentlich schneller und braucht weniger Speicherplatz.

Wenn Sie sich die Definition der Funktion `"Entwickler::Ausgabe"` noch einmal ansehen, werden Sie sich vielleicht fragen, warum es hier nicht zu einer endlosen Rekursion kommt, schließlich

wird doch die virtuelle Funktion **"Angestellter::Ausgabe"** aufgerufen, und die ist bei Entwicklern durch deren Ausgabefunktion überdeckt. Dahinter steckt eine recht sinnvolle Definition: Beim Funktionsaufruf über einen qualifizierten Bezeichner wird diese Funktion grundsätzlich als nicht-virtuell betrachtet, hier also wirklich **"Angestellter::Ausgabe"** aufgerufen, wie es beabsichtigt war.

Virtuelle Funktionen müssen durchaus nicht immer den gleichen Zugriffsmodus haben:

```
class Base
{ public:
    virtual int f(int);
};

class Derived : public Base
{ private:
    int f(int);
};
```

Sonderlich sinnvoll ist das zwar nicht, aber es ist halt so definiert.

Eine Memberfunktion überdeckt eine virtuelle Funktion einer Basisklasse nur dann, wenn Parameterliste und Ergebnistyp exakt übereinstimmen:

```
class B
{ public:
    virtual int f(char*);
};

class C : public B
{ public:
    unsigned f(unsigned char*);
};
```

Hier ist **"C::f"** nicht virtuell, denn sie unterscheidet sich in Parameterliste und Ergebnistyp „etwas" von **"B::f"**. Wenn man der Deklaration von **"C::f"** ein **"virtual"** vorangestellt hätte, wäre sie zwar virtuell, würde **"B::f"** aber nicht überdecken.

Eine virtuelle Funktion kann nicht statisch sein, denn beim Aufruf muß anhand eines konkreten Datenobjekts festgestellt werden, welche Funktion zu benutzen ist. Wird sie als **"inline"** deklariert, muß trotzdem Code für sie erzeugt werden (denn ein Zeiger auf die Funktion muß in die jeweiligen Objekte eingetragen werden) und in der Regel erfolgt der Funktionsaufruf auch nicht über diesen Zeiger und nicht über **"inline"**. Aber MaxonC++ optimiert virtuelle Funktionsaufrufe, bei denen der Objekt-Typ und damit die gewünschte Funktion schon zur Compile-Zeit feststeht, zu gewöhnlichen Funktionsaufrufen:

```
class C
{ int i;
  public:
    virtual void f()
    { i = 42; }
```

```
};

void main()
{ C c1;
  c1.f();              // Nur "C::f" möglich, also kein
                           // Virtueller Aufruf nötig
}
```

Virtuelle Datenmember gibt es übrigens nicht:

```
class Obskur
{ virtual int i;   // ERROR };
```

Falls man so etwas wirklich brauchen sollte, kann man sich mit virtuellen Memberfunktionen, die jeweils eine Referenz auf den passenden Member zurückgeben, behelfen.

3.2.3.3 Abstrakte Klassen

Es gibt Situationen, bei denen man eine Klasse ausschließlich als Basisklasse für andere Klassen benutzen will und nicht die Absicht hat, Objekte dieser Klasse zu erzeugen. Dies kommt insbesondere bei abstrakten Datentypen vor, z. B. kann man sich eine Klasse **"Menge"** erzeugen und erst durch weiteres Ableiten eine wirkliche Menge mit „echten" Elementen erzeugen. Wenn man aber eine Klasse nie wirklich zum Erzeugen von Objekten, sondern nur zum Vererben benutzen will, wäre es natürlich überflüssig, die virtuellen Funktionen der Basisklasse wirklich zu definieren.

Deshalb hat man im 2.0-Standard „abstrakte Klassen" hinzugefügt. Das Schlüsselkonzept dazu sind die „völlig virtuellen Funktionen".

Nehmen wir an, wir haben unsere Klasse **"Mengenelement"**, die irgendein Element in irgendeiner Menge realisieren soll. Auch hier braucht man, wie so oft, eine Funktion zur Ausgabe dieses Mengenelements, und da wir nichts über den konkreten Mengentypen, den wir später ableiten wollen, wissen, deklarieren wir diese Memberfunktion sinnvollerweise als virtuell.

```
class Mengenelement
{ // Irgendwelche internen Daten, z. B. Listenstruktur
  public:
    virtual void Ausgabe() = 0;
};
```

Das **"= 0"** hinter der Funktionsdeklaration besagt, daß es sich hier um eine „völlig virtuelle" Funktion handelt, die wir nie zu definieren gedenken, weil es ganz einfach sinnlos ist, ein Mengenelement auszugeben, bei dem wir noch nicht einmal wissen, von welchem Typ die Daten der Menge sind. Dadurch, daß die Klasse eine völlig virtuelle Funktion besitzt, ist sie für den Compiler eine abstrakte Klasse, er wird nicht zulassen, daß wir ein Objekt dieser abstrakten Klasse erzeugen:

```
void falsch()
{ Mengenelement e1;              // ERROR
  Mengenelement *ep;            // OK
  ep = new Mengenelement; // ERROR
}
```

Aus unserem abstrakten Datentypen erzeugen wir jetzt eine ganz bestimmte Menge, nämlich eine Zahlenmenge, und zu diesem Zwecke brauchen wir den entsprechenden Elementtyp:

```
class ZahlenElement : public Mengenelement
{ public:
     int zahl;           // Das eigentliche Mengenelement
     void Ausgabe();
};

void ZahlenElement::Ausgabe()
{ cout « zahl;
}
```

In der Klasse **"ZahlenElement"** wird die virtuelle Funktion **"Ausgabe"** aus der Basisklasse durch eine (implizit zwar virtuelle, aber nicht völlig virtuelle) Funktion überdeckt. Dadurch besitzt die Klasse **"ZahlenElement"** keine völlig virtuellen Funktionen mehr und ist auch nicht mehr abstrakt. Also können wir Objekte der Klasse **"ZahlenElement"** nach Herzenslust und ungeniert erzeugen.

Wird von einer abstrakten Klasse eine neue Klasse abgeleitet, ohne alle völlig virtuellen Funktionen der Basisklasse zu überdecken, gilt die neue Klasse ebenfalls als abstrakt. Man kann natürlich davon weiter ableiten und irgendwann auch die letzte völlig virtuelle Funktion richtig deklarieren, um eine „verwertbare" Klasse zu erhalten.

3.2.4 Ein paar Anmerkungen zur Implementation

Womöglich sind Sie jetzt völlig verwirrt und fragen sich, was für mystische Dinge ein C++-Programm wohl tut, um alle diese abgefahrenen objektorientierten Features zu implementieren. Sollte das so sein, kann ich Sie beruhigen - all das ist letzten Endes ziemlich simpel. Schließlich ist der objekt-orientierte Teil von C++ nach dem zentralen Prinzip konzipiert, so daß nirgendwo im Vergleich zu „normalen" C-Lösungen ein Overhead an Laufzeit oder Speicherbedarf entstehen soll, eher im Gegentum. Und genau davon soll jetzt die Rede sein.

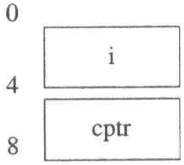
Fangen wir ganz harmlos an: Eine gewöhnliche Struktur besteht, wie Sie sich denken können, aus einem zusammenhängenden Speicherbereich, in dem die Member liegen, und zwar in der Reihenfolge, in der sie deklariert wurden. Daran ändert sich natürlich nichts, wenn man „class" statt „struct" benutzt. Auch unterschiedliche Zugriffsrechte beeinflussen die Abbildung auf das Zielprogramm keineswegs, denn diese Rechte werden bekanntlich bereits vom Compiler geprüft und folglich besteht kein Bedarf, irgendwelche Angaben darüber in die real existierende Struktur einzutragen. Ach ja, statische Member liegen nicht innerhalb eines Datenobjekts, sondern genau einmal sonstwo im Speicher. Die Deklartion dieser Member innerhalb der Klassendefinition sollte Sie nicht darüber hinwegtäuschen, daß es sich hier um ganz normale statische Daten handelt, nur ihre Sichtbarkeit ist auf eine Klasse beschränkt.

Auch bei Vererbung sieht das keineswegs komplizierter aus. Betrachten wir zunächst Einfach-Vererbung, also Ableitung von nur einer Basisklasse. Ich sagte irgendwo oben, daß man sich Vererbung

wie eine Erweiterung einer Struktur vorstellen kann, und genau so realisiert das MaxonC++ auch, und zwar auf die kanonische Weise: Eine abgeleitete Klasse ist immer noch ein zusammenhängender Speicherbereich, wobei der Anfang dieser neuen Struktur der Basisklasse entspricht. Sieht z. B. eine Basisklasse folgendermaßen aus,

```
struct Bas
{ int i;
  char *cptr;
};
```

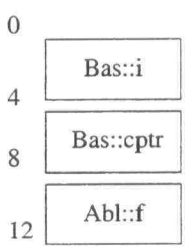
so belegt jedes Objekt dieses Typs acht Bytes, die wie folgt aussehen:



Die Zahlen am linken Rand stellen den Offset innerhalb der Struktur dar, d. h. `"i"` beginnt an der Startadresse der Struktur und `"cptr"` vier Bytes weiter. Wenn wir jetzt eine Klasse ableiten, z. B.

```
struct Abl : public Bas
{ float f; };
```

sieht ein Objekt dieser Klasse folgendermaßen aus:



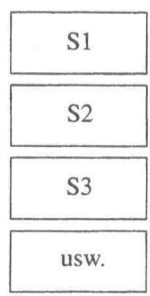
Die Konsequenz ist klar: Wenn man einen Zeiger auf ein solches Objekt hat und ihn als Zeiger auf `"Bas"` benutzt, muß der Compiler nichts weiter tun, denn die Anfangadresse eines `"Abl"`-Objekts ist gleichzeitig die Anfangsadresse eines gültigen Objekts der Klasse `"Bas"`, mit allem was dazu gehört.

Bei Mehrfach-Vererbung ist das etwas komplizierter. Auch hier liegen die Basisklassen am Anfang der abgeleiteten Klasse, aber wie im richtigen Leben kann nur eine die Erste sein. Unter MaxonC++ ist das grundsätzlich die, die zuerst deklariert wurde:

```
struct S1
{ // irgendwas...
};
```

```
struct S2
{ // nochwas...
};

struct S3
{ // egal, was...
};

struct T : public S1, public S2, public S3
{ // usw...
}
```

Ein Objekt der Klasse `"T"` sieht dann so aus (beachten Sie bitte, daß ein Kästchen im folgenden Bildchen nicht wie oben einen einzelnen Member, sondern alle Member einer Klasse darstellt):



Nun hat der Compiler es nicht mehr so leicht: Um einen Zeiger auf `"T"` in einen Zeiger auf `"S2"` oder `"S3"` zu verwandeln, muß er dafür sorgen, daß ein entsprechender Offset addiert wird. Auch bei der umgekehrten Konvertierung (die bekanntlich einen Cast verlangt) muß der entsprechende Offset berücksichtigt, d. h. subtrahiert werden.

Bliebe noch zu erwähnen, wie das mit den virtuellen Funktionen funktioniert. Eine normale, also nicht-virtuelle Member-Funktion ist eine Funktion wie jede andere auch, wobei der `"this"`-Zeiger als versteckter Parameter übergeben wird. Ein Funktionsaufruf der Form

```
xyz.f(p1, p2, p3);
```

veranlaßt den Compiler lediglich, die Adresse des Objekts zu nehmen und als erstes Argument zu verwenden. Es wird also so etwas erzeugt wie

```
IrgendEineKlasse::f(&xyz, p1, p2, p2);
```

Wenn ein Programm aber erst zur Laufzeit feststellen soll, welche konkrete Member-Funktion aufzurufen ist, braucht sie zweierlei: Einen Zeiger auf die Funktion (Zeiger auf Funktionen gibt es auch außerhalb der OO-Welt) und den richtigen Offset für den `"this"`-Pointer. Sehen Sie sich noch einmal die obige Abbildung an: Wenn ein Programm einen Zeiger auf ein `"S2"` hat, das aber in Wirklichkeit nur Bestandteil eines `"T"` ist, und auf diesem `"S2"`-Objekt eine virtuelle Member-Funktion, die in `"T"` überdeckt wird, aufrufen soll, ist der `"this"`-Zeiger zu modifizieren, denn eine Funkti-

on aus `"T"` verlangt nun einmal einen Zeiger auf ein `"T"`, was hier etwas anderes als ein Zeiger auf ein `"S2"` ist. Also muß das Programm nicht nur die Adresse der aufzurufenden Funktion ermitteln, sondern auch noch den richtigen Offset vom `"this"`-Zeiger subtrahieren.

Jede Klasse kann 739 oder noch mehr verschiedene virtuelle Funktionen haben, und damit wäre es wenig sinnvoll, in jedem Objekt für jede virtuelle Funktion einen Zeiger und einen Offset anzubringen. Statt dessen legt MaxonC^{++} für jede benutzte Klassen-Konfiguration eine Tabelle an, in der alle diese Zeiger und Offsets stehen. Ein Zeiger auf diese Tabelle wird automatisch als „unsichtbarer Member" in jedes Objekt eingetragen, sobald es erzeugt wird, z. B. durch eine Variablendeklaration oder mit `"new"`. Später werden wir sehen, daß der Compiler hier einen „Default-Konstruktor" selbsttätig erzeugt und aufruft.

Das ist übrigens auch ein Grund dafür, daß die alte `"malloc"`-Funktion in C^{++} durch `"new"` ersetzt wurde. Der Compiler muß überall dort, wo ein Datenobjekt mit virtuellen Funktionen erzeugt wird, ein paar Zeilen Code erzeugen, die den Zeiger auf die Virtual-Tabelle in das Objekt eintragen. Das kann er aber nur, wenn er weiß, wo welches Objekt erzeugt wird, was mit `"malloc"` nicht möglich ist, denn das ist nur eine Bibliotheksfunktion wie jede andere auch und der Compiler kann nicht wissen, was sie tut und ob sie ein neues Objekt alloziert oder weiß der Geier was. `"new"` ist hingegen fester Bestandteil der C^{++}-Syntax und somit ist für den Compiler erkennbar, welches Datenobjekt davon erzeugt wird.

3.2.5 Virtuelle Basisklassen

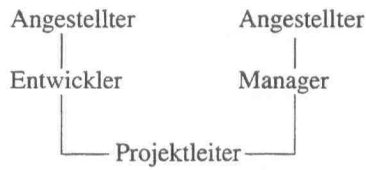
Oben wurde schon angedeutet, welche - bisweilen immense - Probleme das Konzept der Mehrfachvererbung mit sich bringen kann. Hinzu kommt noch, daß man sie auch nicht so oft braucht oder zumindest mit etwas Mühe durch Einfach-Vererbung ersetzen kann. Ein spezielles Problem wurde aber bisher nur angedeutet: Eine Basisklasse kann innerhalb einer abgeleiteten Klasse in mehreren Instanzen auftreten. Dazu zunächst ein kleines Beispiel, wieder einmal so richtig aus dem Leben gegriffen:

Wir betrachten erneut die Sache mit der Belegschaft unserer ominösen Firma, die zunächst einmal aus lauter Angestellten besteht:

```
class Angestellter
{ private:
     // Irgendwelche implementatorische Details
  public:
     char Vorname[20], Nachname[20];
     unsigned int Gehalt;
     // usw..
};
```

Ferner gab es ja auch noch die davon abgeleiteten Klassen `"Entwickler"` und `"Manager"` mit jeweils besonderen Eigenschaften. Zu jedem Projekt gehört aber normalerweise ein Projektleiter, und der soll in unserem Datenmodell die Eigenschaften eines Entwicklers und eines Managers in

sich vereinigen. Bei gewöhnlicher Vererbung sieht die Klasse `"Projektleiter"` dann folgendermaßen aus:



Ei der daus, was ist denn das? Die Basisklase `"Angestellter"`, und mit ihr alle ihre Member, tritt n der Klasse doppelt auf! Das ist natürlich in höchstem Maße unpraktisch, denn erstens werden etzt die Angestellten-Daten eines Projektleiters doppelt abgespeichert und zweitens weiß der Compiler ohne besondere Qualifizierungen oder Typwandlungen nie so recht, welche der beiden Basisklassen er nehmen soll, wenn die Basisklasse `"Angestellter"` eines Projektleiters benutzt wird. Das ist schon ziemlich unangenehm.

Solche Probleme löst man durch virtuelle Basisklassen. Wenn eine Klasse eine virtuelle Basis hat, heiß das so viel wie „irgendwo im Datenobjekt will ich so eine Basisklasse haben, aber möglichst nur einmal, und es stört mich nicht, wenn ich mir die Basisklasse mit anderen Klassen teilen muß". Also leiten wir die Klassen `"Manager"` und `"Entwickler"` virtuell von `"Angestellter"` ab:

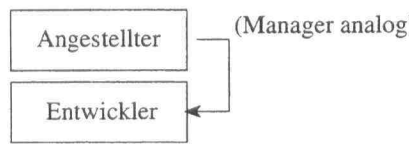
```
class Entwickler : virtual public Angestellter
{ public:
     char Projekt[25];
};

class Manager : virtual public Angestellter
{ public:
     char KFZ[10];    // Kennzeichen des Dienstwagens
     int Spesenkonto;
};
```

Es ist übrigens Banane, ob Sie `"virtual public"` oder `"public virtual"` schreiben. In beiden Fällen bezieht sich das `"virtual"` (genau wie der Zugriffsmodus) ausschließlich auf die nächste folgende Basisklasse, so daß man bei Mehrfach-Vererbung ggf. vor jede Basisklasse ein `"virtual"` schreiben muß.

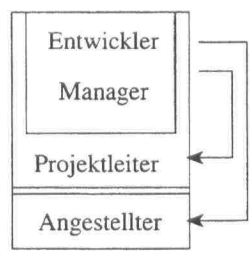
Wenn wir nun den `"Projektleiter"` von `"Entwickler"` und `"Manager"` ableiten, können wir durchaus beide Basisklassen erneut als virtuell deklarieren. Um die ganze Angelegenheit nicht unnötig zu komplizieren, ersparen wir uns das zunächst aber:

```
class Projektleiter: public Entwickler, public Manager
{ public:
     int Bonus;     // Prämie, die er bekommt, falls sein Projekt
               // ausnahmsweise mal termingerecht fertig wird
};
```

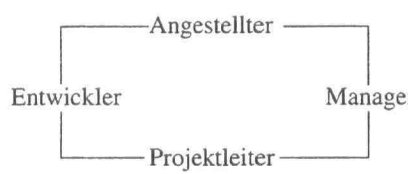
Eine Klasse mit virtueller Basisklasse hat an genau der Stelle, wo eigentlich diese Basisklasse stehen würde, lediglich einen Zeiger auf eine solche Basis. Beim Zugriff auf die virtuelle Basisklasse muß das Programm sich nur an diesem Pointer entlanghangeln. Die virtuelle Basisklasse könnte prinzipiell irgendwo im Speicher stehen, aber sinnvollerweise legt MaxonC++ sie direkt hinter der abgeleiteten Klasse ab, so daß das Objekt einen zusammenhängenden Speicherbereich belegt. Ein Objekt der Klasse „Entwickler" sieht also folgendermaßen aus:



Bei der Klasse `"Projektleiter"` können wir das Spielchen fortgesetzt: Die beiden Basisklassen `"Entwickler"` und `"Manager"` besitzen jeweils einen Zeiger auf ein `"Angestellter"`-Objekt, das irgendwo am Ende der Klasse steht, aber beide verweisen auf dasselbe Objekt:



Als Ableitungsbaum sieht das so aus:



Anhand dieser über alle Maßen anschaulichen Grafiken wird wohl klar, wie es kommt, daß es in `"Projektleiter"` nur einen einziges `"Angestellter"` gibt und jeglicher Zugriff darauf eindeutig ist, auch wenn der Compiler auf dem Weg von `"Projektleiter"` nach `"Angestellter"` die freie Auswahl hat, ob er den Zeiger aus `"Manager"` oder den aus `"Entwickler"` nehmen will. Das Eintragen dieser Zeiger geschieht übrigens genauso wie das der Zeiger auf die Virtual-Function-Tables, nämlich vollautomatisch, sobald ein neues Objekt erzeugt wird.

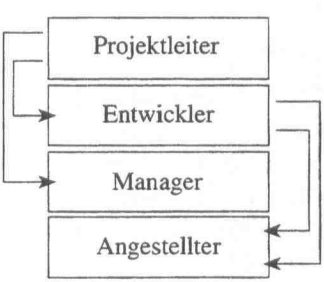
Somit können wir getrost auf alle Member der Klasse `"Projektleiter"` zugreifen, den Rest macht schon der Compiler:

```
#include <string.h>
#include <stream.h>

void main()
{ Projektleiter P1;

   strcpy(P1.Vorname, "Großer");
   strcpy(P1.Nachname, "Guru");
   P1.Gehalt = 26731;
   strcpy(P1.Projekt, "Grober Unfug");
   strcpy(P1.KFZ, "PB-H 37");
   P1.Spesenkonto = 4711;
   P1.Bonus = 666;

   // mach' irgendwas

   cout « P1.Vorname « " " « P1.Nachname « "\n";
   cout « "Einkommen:    " « P1.Gehalt « " DM\n";
   cout « "Projekt:      " « P1.Projekt « "\n";
   cout « "Dienstwagen: " « P1.KFZ « "\n";
   cout « "Spesen:       " « P1.Spesenkonto « " DM\n";
   cout « "Prämie:      " « P1.Bonus « " DM\n";
}
```

Just for fun überlegen wir uns jetzt noch, wie die Klasse aussehen würde, wenn `"Entwickler"` und `"Manager"` ebenfalls virtuelle Basiskklassen von `"Projektleiter"` wären:

```
class Projektleiter: virtual public Entwickler,
       virtual public Manager ...
```

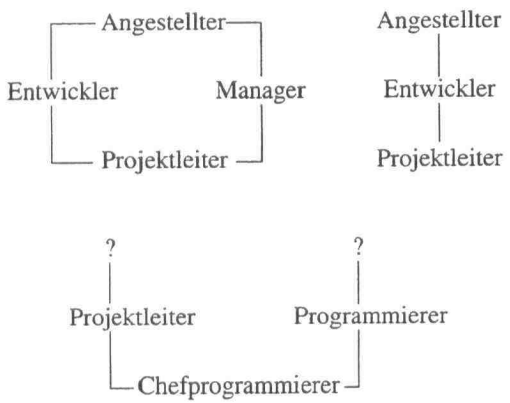
Nun hat die Klasse `"Projektleiter"` da, wo vorher ihre beiden Basisklassen hatte, nur zwei Zeiger auf diese Objekte, und diese haben wiederum einen Zeiger auf ihre gemeinsame Basisklasse „Angestellter":



Das Schöne an virtuellen Basisklassen ist ja, daß man sich eigentlich keine Gedanken darüber machen muß, wie das nun funktioniert - man kann ganz einfach darauf vertrauen, daß es klappt und jede virtuelle Basisklasse in jedem Objekt genau einmal existiert. Natürlich haben Sie keine Gewähr, daß der Compiler die Klassen in der oben dargestellten Reihenfolge anordnet. Die virtuellen Basis-

klassen liegen hinter dem nicht-virtuellen Teil der Klasse, ihre Reihenfolge untereinander ist aber nicht festgelegt.

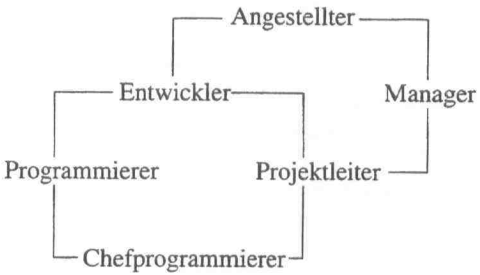
Eine Basisklasse kann innerhalb eines Ableitungsbaums gleichzeitig virtuell und nicht-virtuell sein, z. B. wenn wir `"Programmierer"` nicht-virtuell von `"Entwickler"` ableiten und anschließend daraus einen Chef-Programmierer zusammenbasteln:



bzw. im Quelltext:

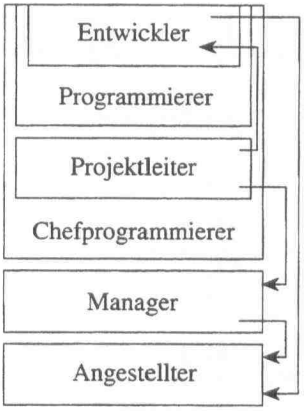
```
class Projektleiter: virtual public Entwickler,
            virtual public Manager ...

class Programmierer: public Entwickler ...

class Chefprogrammierer : public Projektleiter,
              public Programmierer ...
```

Ich habe im Ableitungsbaum absichtlich zwei Fragezeichen gelassen und die Klassendefinitionen nicht endgültig aneinander gesetzt, denn erst muß ich noch erwähnen, daß der Compiler hier merkt, daß die virtuelle Basisklasse `"Entwickler"` aus der Klasse `"Projektleiter"` gleichzeitig nicht-virtuell in `"Programmierer"` vorkommt und deshalb die statische Basisklasse gleichzeitig als virtuelle benutzt:



Na, das ist doch wohl ne Sahne-Klasse, wa? Der Compiler muß jetzt schon ganz schön durch den Klassenbaum navigieren...

Was, Sie wollen ernsthaft wissen, wie das im Speicher aussieht? Na gut, hier ist es:



Wie Sie sehen, handhabt der Compiler Mischformen von virtueller und nicht-virtueller Vererbung durchaus virtuos, aber trotzdem sollte man es vermeiden, damit man nicht selbst den Überblick verliert. Als Faustregel Mehrfach-Vererbung benutzt, grundsätzlich virtuell abzuleiten.

Wenn man nun einen Zeiger auf **`"Chefprogrammierer"`** hat und ihn in einen Zeiger auf **`"Angestellter"`** umwandeln will, genügt es natürlich nicht, wenn der Compiler einfach einen Offset addiert. Vielmehr muß er sich auf einen von mehreren möglichen Pfaden an Zeigern entlanghangeln, um ans Ziel zu gelangen. Dummerweise führt hier kein Pfeil von **`"Angestellter"`** zurück nach **`"Chefprogrammierer"`**, und durch scharfes Nachdenken wird man einsehen, daß es auch nicht sinnvoll, ja sogar nahezu unmöglich ist, einen solchen Zeiger zusätzlich einzuführen. Deshalb ist es in C++ grundsätzlich nicht möglich, einen Zeiger auf eine Klasse in einen Zeiger auf eine virtuell abgeleitete Klasse umzuwandeln:

```
class VirtBasis
{ char Member;  };
```

```
class VirtAbgeleitet : virtual public VirtBasis
{ short Noch_n_Member; };

VirtBasis B1;
VirtAbgeleitet A1;

VirtBasis *bp1 = &A1;          // OK

VirtAbgeleitet *ap1 = (VirtAbgeleitet*) bp1; // ERROR, und
                      // zwar trotz Cast!
```

Das klingt vielleicht wie eine gravierende Einschränkung, aber in der Realität wird man so etwas nötigenfalls elegant durch virtuelle Member-Funktionen lösen, denn selbstverständlich kann man die auch bei virtueller Vererbung benutzen.

Apropos virtuelle Funktionen: Bekanntlich hat eine Klasse mit virtuellen Funktionen einen einzigen Zeiger auf eine Tabelle mit den Daten aller virtuellen Funktionen, während für jede virtuelle Basisklasse eine Zeiger darauf direkt in die Klassenstruktur eingesetzt wird. Warum diese beiden unterscheidlichen Lösungen? Könnte man nicht auch die Aufrufsdaten für die Funktionen direkt in die Struktur einsetzen oder umgekehrt auch virtuelle Basisklassen über eine Tabelle verwalten und dann nur noch einen Zeiger auf diese Tabelle in dem Klassenobjekt aufbewahren, vielleicht sogar eine gemeinsame Tabelle für virtuelle Funktionen und virtuelle Basisklassen einführen?

Im Prinzip sind beide Alternativ-Lösungen praktikabel. MaxonC^{++} verwaltet aber virtuelle Funktionen über Tabellen und virtuelle Basisklassen über direkte Zeiger, und das aufgrund der folgenden praxisnahen Abschätzungen:

1. Laufzeit: Ein Funktionsaufruf ist sowieso eine aufwendige Angelegenheit, und so ist es nicht weiter schlimm, wenn bei einer virtuellen Funktion eine zusätzliche Pointeroperation nötig wird. Dagegen erwartet man als Programmierer, daß der Zugriff auf einen Daten-Member schnell erfolgt, und so ist hier die schnellstmögliche Lösung, nämlich die Zeiger auf die Basisklassen direkt in jedem Klassenobjekt unterzubringen, wohl die sinnvollste.

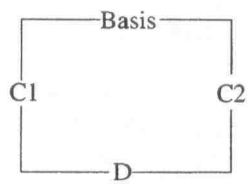
2. Speicherplatz: Eine Klasse hat bei allen denkbaren Anwendungen nur eine sehr begrenzte Anzahl von Basisklassen, selten wird diese Zahl in der Praxis drei oder vier überschreiten. Da jede dieser virtuellen Basisklassen natürlich selbst einige Daten enthält, kann man davon ausgehen, daß eine Klasse mit z. B. vier Basisklassen einen gewissen Umfang besitzt und die vier zusätzlichen Pointer für die Basisklassen nicht weiter ins Gewicht fallen. Andererseits kommt es vor, daß auf einer Klasse, die nur einige wenige kleine Datenmember enthält, etliche virtuelle Funktionen deklariert sind, und im Laufe des Programms zahllose Objekte dieser kleinen Klasse erzeugt werden. Dann wäre es einfach Wahnsinn, in jedes Objekt für jede einzelne Funktion einen Zeiger und einen Offset einzutragen - der Speicherbedarf wäre enorm.

Man beachte, daß die beiden „virtuellen Features" in MaxonC^{++} (und in jedem anderen C^{++} wohl auch) so implementiert sind, daß die Grundregel von C^{++} nicht verletzt wird: Alles ist so zu implementieren, daß weder in der Laufzeit noch im Speicherbedarf ein Overhead im Vergleich zu nichtobjektorientierten Lösungen entsteht.

Es können schon eigenartige Effekte entstehen, wenn zwei Klassen sich eine Basisklasse „teilen". Dazu gehört auch, daß diese Basisklasse (theoretisch, denn praktisch wird man das wohl vermeiden) unterschiedliche Zugriffsrechte hat:

```
class Basis
{ public:
    int Basismember;
};

class C1 : public virtual Basis { };

class C2 : private virtual Basis { };

class D: public C1, public C2 { };
```

Schauen wir uns ganz schnell den Ableitungsbaum dazu an:



Die Frage, die der aufmerksame Leser sich hier stellen wird, lautet: Ist `"Basis"` in `"D"` öffentlich oder privat? Offensichtlich kommt das ganz darauf an, wo man im Baum lang geht, über `"C1"` oder über `"C2"`. Das kann man in einem Programm durch entsprechende Typwandlungen auch explizit tun:

```
void f(D* dp)
{ dp ->Basismember = 42;                // Nanu?
  ((C1*) dp)->Basismember = 43;     // Über C2, also OK
  ((C2*) dp)->Basismember = 43;     // Über C3, also ERROR
}
```

Wie Sie sehen, ist es möglich, von der Klasse `"D"` aus auf den Namen `"Basismember"` zuzugreifen, zumindest mit etwas Aufwand. Deshalb hat man sich entschieden, dort, wo oben „Nanu?" steht, den Zugriff zu erlauben, nach dem Motto, daß es sinnlos ist, Verbote aufzustellen, die man sowieso problemlos umgehen kann.

Ganz allgemein lautet die Regel also: Wenn auf einen Namen auf verschiedenen Wegen mit unterschiedlichen Rechten zugegriffen werden kann, gilt der jeweils geringste Schutz. Ich kann mir aber momentan keine Anwendung vorstellen, bei der man auf die Idee kommen könnte, bei Mehrfach-Vererbung von einer Basisklasse mit unterschiedlichen Zugriffsrechten abzuleiten.

3.3 Konstruktoren und Destruktoren

3.3.1 Initialisierung von Klassen

Lieber Leser, endlich ist Licht am Ende des Tunnels zu sehen: Es fehlt uns nur noch ein wesentliches OO-Konzept von C++, nämlich das der Konstruktoren und Destruktoren.

Als Programmierer steht man eigentlich ständig vor dem Problem, daß ein Datenobjekt initialisiert werden muß, bevor man es benutzen kann. Nun tritt die OO-Programmierung mit dem Anspruch an, daß die Daten des Programms eine gewisse lokale Intelligenz besitzen, und so ist es eine naheliegende Idee, die Initialisierung von Objekten zu automatisieren. In C++ und etlichen anderen Programmiersprachen behandelt man dieses Konzept unter dem Begriff „Konstruktoren".

Ein Konstruktor ist eine Member-Funktion, die automatisch aufgerufen wird, sobald ein Objekt einer Klasse erzeugt wird. Wenn eine Klasse einen solchen Konstruktor besitzt, ist es zwar nicht unmöglich, aber doch ziemlich schwierig, ein nicht initialisiertes Datenobjekt zu erhalten.

Ein Konstruktor kann Parameter haben, und wie jede andere Funktion auch kann man Konstruktoren überladen. Betrachten wir zunächst den einfachsten Fall: Eine Klasse besitzt nur einen Konstruktor, der keine Argumente erwartet. Man kann solche Konstruktoren z. B. benutzen, um alle Member einer Klasse ordentlich mit Null oder einem anderen sinnvollen Wert zu initialsieren. Damit wir aber auch etwas sehen, macht der Konstruktor im folgenden Beispielprogramm auch eine kleine Bildschirmausgabe:

```
#include <stream.h>

class Beispiel
{ public:
     int i;
     char *str;
     Beispiel();    // Das ist ein Konstruktor
};

Beispiel::Beispiel()
{ i = 0;
  str = "Hello, World!";
  cout << str;
}

void main()
{ Beispiel b1;  }
```

Wie Sie sehen, deklariert man eine Konstruktor-Funktion, indem man einer Member-Funktion denselben Namen gibt, den auch die Klasse trägt. Ein Konstruktor darf keinerlei Ergebnistyp haben (nicht einmal `"void"`) und nicht als `"static"` deklariert werden, was auch einleuchtend ist, denn seine Aufgabe ist schließlich, ein konkretes Objekt zu initialisieren. Aus demselben Grund darf er auch nicht als `"const"` deklariert werden. Weil ein Konstruktor normalerweise nur dann aufgerufen wird, wenn ein neues Datenobjekt erzeugt wird, weiß der Compiler stets, mit waelcher Klasse

er es zu tun hat, und so ist es sowohl sinnlos als auch verboten, einen Konstruktor als virtuell zu deklarieren.

Das Hauptprogramm besteht oben ausschließlich aus einer Deklaration einer Variablen des Typs `"Beispiel"`. Der Compiler weiß aber, daß diese Klasse einen Konstruktor besitzt, und erzeugt gleich bei der Deklaration dieser Variablen einen entsprechenden Konstruktoraufruf, durch den `"b1"` initialisiert wird. Außerdem hat der Konstruktor im Beispiel noch einen Seitenefekt in Form einer Ausgabe, so daß hier scheinbar aus dem Nichts (auch bekannt als `"Nil:"`) der Text **„Hello, World"** ausgegeben wird.

Daraus erkennen Sie, daß man Konstruktoren sehr schön dazu mißbrauchen kann, ein Programm durch solche Seiteneffekte vollkommen unlesbar zu machen. Das ist aber natürlich nicht der Sinn der Sache - Konstruktoren sollten ausschließlich zur Initialisierung von Objekten benutzt werden.

Es ist möglich, einen Konstruktor als `"private"` oder `"protected"` zu deklarieren. Dann können nur die entsprechend berechtigten Programmteile Objekte dieser Klasse deklarieren.

Zum Schluß sei noch erwähnt, daß die Scope-Regeln hier etwas komisch, aber durchaus sinnvoll deklariert sind, denn die Deklaration eines Konstruktors, der ja immer so heißt wie seine Klasse, verdeckt keineswegs den Klassennamen:

```
class OK
{ OK *zeiger1;
  OK();          // Konstruktor heißt wie Klasse
  OK *zeiger2;     // OK, ist immer noch Klassenname
};
```

Diese Regelung ist zwar inkonsistent, aber sinnvoll.

3.3.2 Konstruktoren mit Argumenten

Ein Objekt mit sinnvollen Default-Werten initialisieren zu lassen, ist zwar ganz praktisch, aber noch nicht die Erfüllung der letzten Träume des Programmierers. Deshalb bietet C++ auch die Möglichkeit, Konstruktoren mit Argumenten aufzurufen und überdies Konstruktoren zu überladen.

Als Beispiel wählen wir uns hier einmal die komplexen Zahlen, die bekanntlich aus einem Realteil und einem Imaginärteil bestehen. Diese beiden Teile sollten stets mit zwei `"double"`-Werten initialisiert werden:

```
class Complex
{ public:
     double re, im;
     Complex(double, double);
};
```

Jetzt akzeptiert der Compiler es nicht mehr, wenn man ein "Complex"-Objekt „einfach so" deklariert:

```
Complex c1;    // ERROR: No default constructor

Statt dessen haben Sie hier gleich zwei verschiedene Möglichkeiten,
das Objekt zu initialisieren:

Complex c2(1.0, -2.0), c3(0, 0);    // Erste Möglichkeit

Complex c4 = Complex(17.4, 0.42);   // Zweite Möglichkeit
```

Die beiden Schreibweisen sind äquivalent, wobei die erste Alternative an Simula angelehnt ist (was, Sie kennen Simula nicht? Na ja, wahrscheinlich waren Sie damals noch zu jung), während die Syntax mit dem "=" mehr Ähnlichkeit mit einer „normalen" Initialisierung in C hat.

Natürlich werden Konsrtuktoren nicht nur bei Variablendeklarationen aufgerufen, sondern nahezu immer, wenn ein Objekt erzeugt wird, und folglich auch bei "new":

```
Complex *cp = new Complex(17.4, 21.0);
Complex *cpvector = new Complex[100];    // ERROR
```

Das zweite "new" ist nicht erlaubt, weil man bekanntlich Vektoren bei "new" nicht initialisieren kann, die Klasse "Complex" aber eine Initialisierung verlangt.

Konstruktoren lassen sich überladen, wie jede andere Funktion auch:

```
class Complex2
{ public:
     double re, im;
     Complex2(double r, double i)
     {  re = r;
        im = i;
     }
     Complex2(double x)
     { re = x;
        im = 0;
     }
     Complex2()
     { re = 0;
        im = 0;
     }
};

Complex2 d1, d2(3), d3(1,2);

Complex2 d4 = 1.2;

Complex2 d5(d1);
```

Hier wurden die Konstruktoren sogar zusätzlich als `"inline"` definiert, was bei so kleinen Funktionen sinnvoll ist. Natürlich hätte man dasselbe auch durch entsprechende Default Parameter erledigen können, aber Überladen ist nun einmal schöner.

Bei `"d4"` sehen Sie noch eine dritte mögliche Schreibweise: Wenn ein Konstruktor nur ein Argument erwartet, kann man auf diese Weise auch direkt initialisieren. Auf diese Weise erhält man gewissermaßen eine selbstdefinierte Typkonvertierungsregel.

Bei `"d5"` wird angedeutet, daß jede Klasse automatisch einen Konstruktor besitzt, nämlich den Kopier-Konstrutor, der ein neues Objekt erzeugt, indem er ein bereits existierendes kopiert. Wenn der Programmierer nicht selbst einen Kopier-Konstruktor der Form

```
class X
{ // ...
  X(const X&);      // Alternativ auch ohne "const"
};
```

deklariert, macht das der Compiler. Das folgende ist kein Kopier-Konstruktor,

```
class Y
{ // ...
  Y(Y);
 };
```

weil für den Aufruf dieser Funktion das Argument auf den Stack kopiert werden müßte, und dazu wäre erneut der Aufruf eines Kopier-Konstuktors notwendig.

3.3.3 Initialisierung von Basisklassen und Membern

Jetzt stellt sich natürlich die Frage, wie ein Konstruktor für abgeleitete Klassen auszusehen hat, schließlich müssen ja auch Basisklassen sauber initialisiert werden. Deshalb hat man für Konstruktor-Definitionen eine besondere Syntax eingeführt. Vor den eigentlichen Anweisungsteil der Funktion sind die Initialisierungen der Basen zu setzen, z. B. so:

```
class A
{ // usw.
  public:
    A(int);
};

class B
{ // usw.
  public:
    B(int, int);
};

class C: public A, private B
{ // Nochwas...
  C(int, int, int);
};
```

```
C::C(int a, int b, int c) : A(a), B(b, c)
{ // Sonstige Initialisierungen...
}
```

Im Beispiel hat die Klasse "C" zwei Basisklassen, die beide keinen Default-Konstruktor haben. Deshalb verlangt der Compiler hier, daß "C" einen Konstruktor haben muß, und meldet sonst einen Fehler. Bei der eigentlichen Definition des Konstruktors sind dann die Initialisierungen der Basisklassen entsprechend vorzunehmen. Auch hier wacht der Compiler pingelig darüber, daß keine Basisklasse uninitialisiert bleibt. Wenn eine Basisklasse aber einen Default-Konstruktor hat, kann man ihre Initialisierung weglassen, und jener Konstruktor wird automatisch aufgerufen.

Mit derselben Syntax kann man auch Member initialisieren, was vor allem bei Membern von "const"- oder Referenztypen nötig ist, denn die können nicht durch eine gewöhnliche Wertzuweisung initialisiert werden. Das folgende Listing illustriert dieses Problem und seine Lösung:

```
class Falsch
{ int &ir;
  const int ic;
};          // ERROR: "ir" und "ic" nicht initialisiert

class AuchFalsch
{ int &ir;
  const int ic;
  AuchFalsch(int&);
};                    // So weit OK

AuchFalsch::AuchFalsch(int &ref)
{ ir = ref;             // Keine wirkliche Initialisierung!
  ic = ref;             // Verboten, da "const"
}

class Richtig
{ int &ir;
  const int ic;
  Richtig(int&)
};                    // OK, hat Konstruktor

Richtig::Richtig(int &ref) : ir(ref), ic(ref)
{ cout << ref;    }
```

Bei solchen Konstruktor-Initialisierungen ist die Reihenfolge von Basisklassen und Membern beliebig. Es versteht sich, daß auch Member mit Konstruktoren auf diese Weise initialisiert werden können - oder sogar müssen, wenn kein Default Konstruktor vorhanden ist:

```
class BuM      // "Basis und Member"
{ int i;
  public:
    BuM(int);
};
```

```
class Abgel : public BuM
{ BuM bumm;
  public:
    Abgel(int);    // Klasse MUSS Konstruktor haben!
};
// Der Konstruktor für "Abgel" konstruiert eine Basisklasse und
// einen Member, beide vom gleichen Typ "BuM":

Abgel::Abgel(int i) : BuM(i+1), bumm(i+2)
{ // Sonstige Initialisierungen ...
}
```

Etwas komisch wird die Angelegenheit bei Mehrfach-Vererbung mit virtuellen Basisklassen:

```
class Basis
{ int i;
  public:
    Basis(int);
};

class Ab1 : public virtual Basis
{ int j;
  public:
    Ab1(int, int);
};

Ab1::Ab1 (int p1, int p2) : Basis(p1)
{ j = p2;  }

class Ab2 : public virtual Basis
{ int k;
  public:
    Ab2(int, int);
};

Ab2::Ab2 (int p1, int p2) : Basis(p1)
{ k = p2;}

class Top: public Ab1, public Ab2
{ public:
    Top(int, int, int);
};

Top::Top (int p, int q1, int q2) : Ab1(p, q1), Ab2 (p, q2)
{ }
```

Die Klasse `"Top"` hat die Basisklassen `"Ab1"` und `"Ab2"`, die sich eine gemeinsame Basisklasse `"Basis"` teilen. Alle Klassen initialisieren über Konstruktoren ihre Basisklassen, was eigentlich zur Folge haben würde, daß `"Basis"` gleich zweimal initialisiert würde, was nicht nur Zeitverschwendung wäre, sondern auch zu haarsträubenden Inkonsistenzen führen würde. Stellen Sie sich beispielsweise einmal vor, der Konstruktor von `"Basis"` würde jeweils eine statische Variable inkre-

mentieren, damit man immer weiß, wie viele Objekte der Klasse `"Basis"` es gibt. Wenn dann ein Objekt der Klasse `"Top"`, das nur ein `"Basis"`-Objekt enthält, erzeugt wird, würde dieser Zähler gleich doppelt inkrementiert, was ganz sicher nicht im Sinne des Erfinders ist.

Keine Sorge, genau das passiert nicht. Es wird automatisch geregelt, daß virtuelle Basisklassen nur genau einmal konstruiert werden, und zwar von einer bestimmten abgeleiteten Klasse. Die Regeln, welche Klasse das jeweils ist, sind ziemlich kompliziert und zum Teil implementationsabhängig, deshalb sollten Sie sich darum am besten gar nicht kümmern. Im obigen Beispiel ist es sowieso egal, ob `"Basis"` von `"Ab1"` oder `"Ab2"` aus initialisiert wird, denn in beiden Fällen wird der Konstruktor mit demselben Argument aufgerufen.

Implementiert wird dieses Feature übrigens, indem in Klassen mit einer virtuellen Basisklassen nicht nur der entsprechende Zeiger, sondern auch ein Flag, ob diese Basisklasse zu initialisieren ist, eingetragen wird. Mit demselben Mechanismus wird auch dafür gesorgt, daß eine Klasse genau einmal destruiert wird.

In Konstruktoren und Destruktoren werden Member-Funktionen nicht virtuell aufgerufen:

```
class Base
{ public:
    virtual void f();
};

class Derived : public Base
{ int member;
  public:
    Derived();
};

Derived::Derived()
{ member = 26731;
  f();          // Nicht virtuell!!
}
```

Warum das? Nun, es könnte ja sein, daß von `"Derived"` weiter abgeleitet wird, etwa so:

```
class D2 : public Derived
{ public:
    int &ir;    // Braucht Initialisierung
    void f();
    D2();
};

void D2::f()
{ ir = 42; }

D2::D2() : Derived(), ir(member)
{ // usw.  }
```

Basisklassen werden grundsätzlich vor abgeleiteten Klassen konstruiert. Wäre der Aufruf von `"f"` im Konstruktor von `"Derived"` virtuell, so würde hier `"D2::f"` aufgerufen, wo die Referenz `"ir"` benutzt wird, bevor sie initialisiert wird, und das darf in C++ einfach nicht sein.

3.3.4 Besondere Konstruktoren

3.3.4.1 Default-Konstruktoren

Konstruktoren können beliebige und beliebig viele Argumente haben, ganz wie es für die Initialisierung der Klasse nötig ist. Es gibt aber zwei Arten von Konstruktoren, die aus dem Rahmen fallen: die argumentlosen Default-Konstruktoren und die Kopier-Konstruktoren.

Ein Default-Konstruktor ist ein solcher, der ohne Argumente aufgerufen werden kann. Dafür gibt es mehr Möglichkeiten, als Sie vielleicht denken:

```
class C1
{ public:
    C1();      // Einfachster Fall
};

class C2
{ public:
    C2(...);
};

class C3
{ public:
  C3(int i = 17, double d = 4.0);
};

C1 c1;         // OK
C2 c2;         // OK
C3 c3;         // OK
```

Objekte dieser drei Klassen darf man ohne Argumente bzw. Initialisierung aufrufen, denn der Compiler kann jeweils einen Konstruktor ohne Argumente aufrufen. Als kleine Inkonsistenz darf man auch Klassen, die überhaupt keinen Konstruktor besitzen, uninitialisiert erzeugen, dann findet entsprechend keinerlei Initialisierung statt.

Vektoren von Klassen lassen sich, sofern man nicht den Default-Konstruktor benutzen will oder kann, auch über Elementlisten konstruieren:

```
class C
{ short nr, x;
  public:
    C(int);   // Kein Default-Konstruktor
};

C cv[5] = { 2, 4, 6, 8, 10 };     // Konstruktor-Aufrufe!
```

Hier wird für jedes Vektorelement ein Konstruktoraufruf mit der entsprechenden Nummer generiert. Diese Syntax kann aber nur eingeschränkt werden, z. B. nicht zur Initialisierung von mit `"new"` erzeugten Vektoren oder für Vektor-Member:

```
class D
{ C vectormember[3];
  D();          // Konstruktor nötig
}

D::D() : vectormember ( { 0, 8, 15 } )   // ERROR!
{ }
```

Formal wird dieser Fehler damit begründet, daß eine Elementliste im Sinne von C kein „Ausdruck" ist. Wenn Sie sich fragen, wie man obiges Programm richtig schreiben soll, so muß ich leider sagen, daß das unmöglich ist - Member dürfen nur dann Vektoren einer Klasse sein, wenn eben jene Klasse einen Default-Konstruktor besitzt.

3.3.4.2 Kopier-Konstruktoren

Jede Klasse besitzt automatisch einen Kopier-Konstruktor, denn wenn man nicht selbst einen deklariert, tut es der Compiler automatisch.

Normalerweise wird ein Kopier-Konstruktor folgendermaßen deklariert (siehe auch 3.3.2):

```
class C
{ // ...
  C(const C&);
};
```

„Normalerweise" deshalb, weil es in der Regel nicht nötig sein wird, ein Objekt zu verändern, wenn man es bloß in ein anderes kopieren will. Falls doch, ist

```
class Seltsam
{ // ...
  Seltsam(Seltsam &);
};
```

auch ein gültiger Kopier-Konstruktor. Grundsätzlich sollte man aber Referenzen auf Objekte, die man nicht verändern will, als `"const"` deklarieren.

Wenn der Compiler selbst einen Copy-Konstruktor definiert, sieht der so aus, daß alle Member und Basisklassen einzeln kopiert werden. Wenn ein Member oder eine Basisklasse aber einen eigenen Kopier-Konstruktor besitzt, wird natürlich dieser benutzt. Ein vom Compiler generierter Konstruktor ist stets `"public"`.

Kopier-Konstruktoren werden immer dann aufgerufen, wenn ein Objekt initialisiert wird, nicht jedoch bei einer gewöhnlichen Wertzuweisung:

```
#include <stream.h>

class C
```

```
{ public:
    int i;
    C(const C&);
    C(int);
};

C::C(const C &c2)    // Copy-Konstruktor
{ i = c2.i;
  cout « "Copy-Konstruktor ausgeführt.\n";
};

C::C(int i1) : i(i1) { }   // Gewöhnlicher Konstruktor

// Eine Funktion, die ein Objekt als Parameter
// erwartet und zurückgibt:
C f(C carg)
{ C result(carg);  // ** 1
  result.i += 42;
  return result;   // ** 2
}

void main()
{ C c1 = 17, c2 = c1;   // ** 3

  c2 = c1;     // KEIN Copy-Konstruktor-Aufruf

  c2 = f(c1); // ** 4
}
```

In diesem Programm wird der Kopier-Konstruktor genau viermal aufgerufen, nämlich überall da, wo `"***"` steht:

1. In `"f"` wird das Objekt `"result"` deklariert und mit `"carg"` initialisiert. Unabhängig davon, ob hier die Schreibweise `"C x(y)"` oder `"C x = y"` benutzt wird, ist dies der „klassische" Fall für den Aufruf eines Copy-Konstruktors.

2. Bei `"return"` wird ein Klassenobjekt zurückgegeben. Implementatorisch reicht es natürlich nicht, einen Zeiger auf das lokale Objekt `"result"` zurückzugeben, denn nach Beendigung der Funktion existiert dieses Objekt ja nicht mehr. Statt dessen muß der Compiler irgendwo ein namenloses temporäres Objekt einrichten, in das das Funktionsergebnis kopiert wird, und weil dieses Phantom-Objekt mit dem Funktionsergebnis initialisiert wird, wird folgerichtig auch bei `"return"` generell ein Konstruktor aufgerufen.

3. In `"main"` wird das Objekt `"c2"` mit dem gleichartigen Objekt `"c1"` initialisiert, wobei diesmal die Schreibweise mit dem `"="` benutzt wird. Auch dies ist ein ganz klarer Fall für den Copy-Konstruktor. In der folgenden Zeile findet dagegen keine Initialisierung, sondern eine ganz gewöhnliche Wertzuweisung statt und deshalb wird dort auch kein Konstruktor aufgerufen. Man kann auch diese normale Wertzuweisung verändern, indem man den Operator `"="` überlädt, aber das gehört in ein anderes Kapitel.

4. Zum Schluß wird die Funktion `"f"` aufgerufen, die als Argument ein Objekt der Klasse `"C"` erwartet (und nicht etwa eine Referenz darauf). Also wird für diesen Funktionsaufruf ein neues Objekt erzeugt, das für die Funktion später `"carg"` heißen wird, und natürlich muß dieses neue Objekt konstruiert werden. Also wird `"carg"` mit dem Copy-Konstruktor aus `"c1"` erzeugt. Unter (2.) wurde bereits angedeutet, daß das Funktionsergebnis bei `"return"` in ein temporäres Objekt kopiert bzw. konstruiert wird. Nachher wird dieses temporäre Objekt nach `"c2"` kopiert, aber das ist wieder eine ganz normale Wertzuweisung und führt deshalb zu keinem weiteren Aufruf des Kopierkonstruktors.

An dieser Stelle möchte ich noch kurz darstellen, wie die Rückgabe eines Klassenobjekts in MaxonC++ intern realisiert wird. Bei numerischen oder Pointerdaten wird das Ergebnis in einem bestimmten Prozessorregister, nämlich `"d0"`, zurückgegeben, aber ein Klassenobjekt wird meist nicht in einem Register Platz haben. Deshalb erhält eine Funktion, die eine Struktur (bzw. ein Objekt) zurückgeben soll, als unsichtbaren Parameter einen Zeiger auf den Speicherbereich, in den das Ergebnis zu kopieren ist, wobei aber stets der Kopier-Konstruktor verwendet wird. Der Compiler erzeugt bei Bedarf ein temporäres Objekt, in dem das Ergebnis konstruiert wird, und generiert dann Code, der die Daten aus dem temporären Objekt in das eigentliche Zielobjekt kopiert, wobei auch ein überladener `"="`-Operator Beachtung findet.

Auf den ersten Blick erscheint dieses Hin- und Herkopieren vielleicht ziemlich umständlich, denn man könnte doch auch das Ergebnis direkt im Zielobjekt konstruieren. Aber in C++ wird streng zwischen Initialisierungen und Wertzuweisungen unterschieden, und ein Ausdruck `"y = f(x)"` ist nun einmal eine Wertzuweisung und keine Initialisierung.

3.3.5 Destruktoren

Konstruktoren stellen ein leistungsfähiges Konzept dar, mit dem man leicht Objekte realisieren kann, die sich automatisch initialisieren und schon bei ihrer Erzeugung komplexe Aufgaben erledigen. Nun bleibt noch das Problem, daß man oft „Aufräumen" muß, sobald ein Objekt zu existieren aufhört. Aber auch das ist in einer Programmiersprache wie C++ kein Problem, denn hier gibt es das Destruktor-Konzept.

Ein Destruktor ist eine Funktion, die der Compiler automatisch immer dann aufruft, wenn ein Objekt der jeweiligen Klasse gelöscht wird, d. h. für statische Variablen am Programmende für Variablen im automatischen Speicher wenn der Block, in dem sie deklariert sind, beendet wird für durch `"new"` erzeugte Objekte beim Aufruf von `"delete"`.

Man deklariert einen Destruktor als Member-Funktion, die wie ein Konstruktor (also so wie die Klasse) heißt, nur daß man dem Namen ein `"~"` voranstellt:

```
#include <stream.h>

class Test
{ int nr;
  public:
    Test(int);          // Konstruktor
```

```
    ~Test();            // Destruktor
};

Test::Test(int i) : nr(i)
{ cout « "Objekt " « nr « " erzeugt.\n";
}

Test::~Test()
{ cout « "Objekt " « nr « " gelöscht.\n";
}

void main()
{ Test t1(42), t2(26731);
  cout « "Daten sind initialisiert.\n";
}
```

Das Programm erzeugt folgende Ausgabe:

Objekt 42 erzeugt.

Objekt 26731 erzeugt.

Daten sind initialisiert.

Objekt 26731 gelöscht.

Objekt 42 gelöscht.

Am Ende der Funktion `"main"` endet auch die Existenz der Objekte `"t1"` und `"t2"`, und deshalb erzeugt der Compiler hier automatisch die entsprechenden Destruktoraufrufe - wie man sieht, in der umgekehrten Reihenfolge, in der die Objekte erzeugt wurden. Hier ist ein anderes Beispiel: Ein objekt-orientiertes „Hello World"-Programm:

```
#include <stream.h>

class Hallo
{ public:
    Hallo();
    ~Hallo();
};

Hallo::Hallo()
{ cout « "Hello ";
}

Hallo::~Hallo()
{ cout « "World!";
}

Hallo H;

void main()
{ }
```

Man beachte vor allem, daß hier das alles außerhalb des Hauptprogramms geschieht, nämlich in den Konstruktoren und Destruktoren, die für die globale Variable `"H"` aufgerufen werden. Solche statischen Variablen mit Filescope werden vor Ausführung von `"main"` konstruiert und am Programmende destruiert. Im Prinzip kann man auf diese Weise Programme schreiben, die ganz ohne Hauptprogramm auskommen, aber der Linker will trotzdem `"main"` haben.

Ein Destruktor darf keine Parameter haben - klar, denn der Compiler muß ihn ja selbständig aufrufen und kann sich keine Argumente aus dem Finger saugen. Folglich kann man einen Destruktor nicht überladen, und außerdem darf er kein Ergebnis zurückgeben (noch nicht einmal `"void"`). Genau wie ein Konstruktor darf ein Destruktor nicht als `"static"` deklariert werden. Es macht nichts, wenn er `"private"` oder `"protected"` ist, der Compiler darf ihn trotzdem von jedem Programmteil aus aufrufen. Bei Destruktoren sagt der Zugriffsmodus nur aus, ob der Programmierer ihn explizit aufrufen darf.

Ein Destruktor wird auch bei `"delete"` aufgerufen. Im Gegensatz zu `"new"` ist bei `"delete"` die genaue Klasse des dynamisch erzeugten Objekts nicht zur Compilezeit bekannt, und deshalb ist es erlaubt und vor allem auch sinnvoll, einen Destruktor als virtuell zu deklarieren:

```
#include <stream.h>

class Basis
{ virtual ~Basis()
   { cout « "Basis destruiert.\n";
   }
};

class Klasse: public Basis
{ virtual ~Klasse()
   { cout « "Klasse destruiert.\n";
   }
};

void main()
{ Basis *bp = new Klasse;

   delete bp;
}
```

Der Destruktor von `"Klasse"` überdeckt virtuell den von `"Basis"`, und so wird bei `"delete bp"` der korrekte Destruktor aufgerufen. Die Ausgabe des Programms lautet also:

```
Klasse destruiert.   Basis destruiert.
```

Daraus lernen Sie auch unschwer, daß Basisklassen (und Member) nach Beendigung eines Destruktors automatisch ebenfalls destruiert werden, so daß der Destruktor einer abgeleiteten Klasse sich darum nicht explizit zu kümmern braucht. Destruktoren funktionieren also völlig analog zu Konstruktoren, und deshalb wird es Sie auch nicht überraschen, daß

- Member-Funktionen von Destruktoren aus nicht virtuell aufgerufen werden (siehe 3.3.3),

- beim Löschen von Vektoren von Klassen der Destruktor für jedes einzelne Vektorelement aufgerufen wird, und
- virtuelle Basisklassen bei Mehrfach-Vererbung nur genau einmal destruiert werden (hier werden dieselben Flags wie beim Konstruieren verwendet, siehe 3.3.3).

Ansonsten ist noch zu erwähnen, daß der Compiler Destruktoren (genau wie Konstruktoren) ziemlich clever handhabt:

```
class C
{ public:
    C();
    ~C();
};

void main()
{ goto L1;
  C c1;  // ERROR: Jump past initialisation of "c1"
         // (d. h. es ist nicht mehr klar, ob "c1" später
L1:
         // destruiert werden soll)

  if(1)
  { C c2;
    goto L2;  // Vor "goto" wird "c2" automatisch destruiert
    C c3;     // Destruktor-Aufrufe für "c2" und "c3"
  }

  L2:  C c4;
  if (0)
    goto L2;  // Bei "goto": Destruktor-Aufruf für "c4"

  // Hier werden "c4" und "c1" destruiert
}
```

Durch solche Späßchen garantiert der Compiler, daß zu jedem Konstruktor- genau ein Destruktoraufruf erfolgt, ganz so wie man es erwartet.

3.4 Beispielprogramm:

Telefon-Listen, diesmal aber objekt-orientiert

Am Ende von Kapitel 2 habe ich Ihnen als Beispiel ein kleines Telefonbuch-Programm vorgestellt, und am Anfang dieses Kapitels versprach ich Ihnen, daß man so etwas objekt-orientiert viel eleganter lösen kann. Jetzt, da es sowieso wieder einmal Zeit wird, ein Demoprogramm zu bringen, will ich mein Versprechen einlösen: Es folgt eine neue Version des Telefonbuch-Programms und zwar unter Benutzung der meisten objektorientierten Features, die bis jetzt vorgestellt wurden.

Ich möchte Sie aber lieber gleich warnen: Das Programm wird dadurch keineswegs einfacher! Ich will hier nämlich zugleich ein Beispiel für abstrakte Datentypen bringen, d. h. zunächst eine ganz all-

gemeine Listenstruktur realisieren und sie dann durch Vererbung zu einem Telefonbuch spezialisieren. Also, an's Werk:

```
// Objektorientiertes Telefonlisten-Programm

// Dieselben Header-Files wie in der ersten Version:

#include <stream.h>
#include <string.h>
```

Die wichtigste Idee in unserem Programm ist, zuerst zwei Klassen **"Listenelement"** und **"Liste"** zu implementieren, die eine doppelt verkettete, sortierte Listenstruktur wie bei der ersten Version realisieren, aber noch nicht festlegen, welche Daten in dieser Liste gespeichert werden sollen. Wir werden davon die beiden Klassen **"Telefonbuch"** und **"Telefonbucheintrag"** ableiten und so ziemlich einfach aus der allgemeinen Listenstruktur ein Telefonbuch machen. Ebenso gut könnte man sich aber auch eine nach lateinischen Bezeichnungen sortierte Liste von Würmern implementieren, wobei wiederum jedes Wurm-Objekt als Member eine chronologisch geordnete Liste von Publikationen über ihn enthält, und zu jede Publikation eine Liste der Autoren existiert, oder... Der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt, und vielleicht werden Sie auch einmal in einem Ihrer eigenen Programme auf die hier dargestellte abstrakte Listenstruktur zurückgreifen.

Als erstes deklarieren wir die Klasse **"Listenelement"**, die irgendein Element in irgendeiner sortierten, doppelt verketteten Liste darstellen soll. Welche Eigenschaften soll diese Klasse besitzen?

Zunächst einmal wären da die Zeiger **"next"** und **"prev"**, genau wie im alten Programm. Daran sollte der unbedarfte „Benutzer" der Klasse nicht herumspielen, und deshalb deklarieren wir sie (und einige andere Bezeichenr auch) als **"private"**. Dafür müssen wir, wie wir später noch sehen werden, die Klasse **"Liste"** als **"friend"** deklarieren, denn von dort aus muß auf diese Zeiger zugegriffen werden.

Da die Liste später sortiert sein soll, brauchen wir eine Vergleichsfunktion. Da wir aber noch nichts, aber auch gar nichts über die spätere Liste wissen, deklarieren wir diese Funktion (namens **"compare"**) als virtuell und zwar als voll virtuell, denn zwei ganz allgemeine Listenelemente zu vergleichen, ist sicher nicht sinnvoll. Somit ist die Klasse **"Listenelement"** auch schon abstrakt, und das ist ja auch so gedacht.

Aus demselben Grund deklarieren wir die Member-Funktion **"ausgabe"**, die die Daten eines Listenelements ausgeben soll, als voll virtuell. Außerdem führen wir der Vollständigkeit halber einen virtuellen Destruktor ein, denn es kann ja sein, daß später eine Klasse mit einem Destruktor von **"Listenelement"** abgeleitet wird, und so gewährleisten wir in weiser Voraussicht, daß auch stets der richtige Destruktor aufgerufen wird. Wir deklarieremn ihn aber nicht als voll virtuell, sondern definieren ihn als Leerfunktion, so daß man in abgeleiteten Klassen einen Destruktor deklarieren kann, aber nicht muß.

Als kleines Gimmick stellen wir allen abgeleiteten Klassen die Zeiger "next" und "prev" zur Verfügung, und zwar in Form der Funktionen "getnext" und "getprev", die als "protected" deklariert werden. So können abgeleitetet Klassen kontrolliert lesend auf diese Zeiger zugreifen. Wir werden dieses Feature in diesem Programm nicht benutzen.

Wenn wir dann noch bedenkan, daß man im Zweifalsfall alles als "const" deklarieren sollte, um möglichst universell verwendbare Funktionen zu erhalten, sieht die Klassendefinition folgendermaßen aus:

```
class Listenelement
{ private: Listenelement *next, *prev;
  // Vorgänger und Nachfolger

  virtual int compare(const Listenelement*) const = 0;
  // Vergleicht Objekt "*this" mit einem
  // anderen Listenelement
  // und gibt -1, 0 oder +1 zurück (wie bei "strcmp")

  virtual void ausgabe() const = 0;
  // Ein Listenelement ausgeben

  virtual ~Listenelement()  { }  // Virtuieller Destruktor -
  // hier nur ein Dummy, kann aber
  // in abgeleiteten Klassen überdeckt werden

  protected:  // Kleine Extras: abgeleitete Klassen dürfen
              // "next" und "prev"  auslesen:
    Listenelement *getnext() const
      { return next;  }
    Listenelement *getprev() const { return prev;   }

    friend class Liste;  // Diese später deklarierte Klasse
// braucht Zugriff auf private Member
};
```

Da hier alle Member-Funktionen entwerder voll virtuell sind (und deshalb nicht definiert werden müssen) oder direkt als "inline" in der Klassendefinition definiert wurden, sind wir mit der Klasse "Listenelement" auch schon fertig und können den abstrakten Datentyp "Liste" entwerfen, der wieder eine ganz allgemeine Listenstruktur darstellen soll und zunächst nichts mit einem Telefonbuch zu tun hat.

Eine "Liste" besitzt wie bisher je einen Zeiger auf das erste und das letzte Listenelement. Auch diese Zeiger sind Privatangelegenheit der Klasse und werden dementsprechend deklariert.

Als nächstes brauchen wir eine Funktion, die ein neues Element an geeigneter Stelle in die Liste einhängt. Die Position kann sie mit der Funktion "compare" aus "Listenelement" herausfinden, aber da wir sonst nichts über den genauen Charakter der Liste wissen, können wir in dieser Struktur kein neues Listenelement erzeugen, sondern brauchen einen Zeiger auf ein fertig alloziertes und initialisiertes Element. Nun gilt es zu verhindern, daß jemand ein von "Listenelement" abgelei-

tetes Objekt, das einen Fadenwurm repräsentiert, in ein Telefonbuch einfügt - das geht, wenn sowohl die Klasse `"Wurn"` als auch `"Telefonbucheintrag"` von `"Listenelement"` abgeleitet sind. Deshalb deklarieren wir die Funktion `"insert"` als `"protected"`, d. h. nur die von `"Liste"` abgeleitete Klasse (z. B. `"Telefonbuch"`) darf neue Elemente in die Liste einfügen.

Eine Liste braucht einen Konstruktor, der die Zeiger `"anfang"` und `"ende"` initialisiert (früher hatten wir dafür ja die Funktion `"Init"`, die explizit aufgerufen werden mußte), und einen Destruktor, der alle Elemente der aus Liste löscht. Außerdem deklarieren wir die Member-Funktion `"ausgabe"`, die alle Elemente der Liste (z. B. das gesamte Telefonbuch) ausgeben soll, und Funktionen zum Suchen und Löschen von Listenelementen. Da wir immer noch nicht wissen, mit was für einer Liste wir es später zu tun haben werden, braucht die Suchfunktion einen Zeiger auf ein `"Muster"`-Listenelement, zu dem sie dann mit der `"compare"`-Funktion eine Entsprechung in der Liste suchen kann.

Damit kommen wir zu folgender Klassendefinition:

```
class Liste
{  private:
     Listenelement *anfang, *ende;  // Erstes und letztes
     // Element Der Liste
   protected:
     void insert(Listenelement *neu);
     // Sucht eine geeignete Position für das
     // Element "*neu" und
     // hängt es in die Liste ein

   public:
     Liste();  // Konstruktor zur Initialisierung
     ~Liste();
     // Destruktor (löscht alle
     // Listenelemente)
     void ausgabe();  // Gibt die ganze Liste aus

   Listenelement *suchen(Listenelement *);
   // Sucht ein Element, das dem
   // Argument-Element "entspricht"
   // (was immer das in einer konkreten Liste heißen mag -
   // jedenfalls ein Element, bei dem "compare"
   // Null liefert)
   // oder Null, wenn kein solches Element existiert.

     void loeschen(Listenelement*);
   // Hängt ein Element aus der Liste aus und löscht es
   // mit "delete"
};
```

Aus didaktischen Gründen implementieren wir jetzt gleich alle Member-Funktionen von `"Liste"`: Zunächst der Konstruktor, der der Funktion `"Init"` in der alten Programmversion zum Verwechseln ähnlich sieht:

```
Liste::Liste()
{ anfang = 0;
  ende = 0;
}
```

Auch den Destruktor kennen Sie noch, auch wenn er früher eine normale Funktion war und "AllesLoeschen" hieß:

```
Liste::~Liste()
{ Listenelement *p = anfang;

  while(p)
  { Listenelement *hilf = p;
    p=p->next;
    delete hilf;
  }
}
```

Die Member-Funktion "ausgabe" muß hier nichts anderes tun, als für alle Listenelemente deren Funktion "ausgabe" aufzurufen:

```
void Liste::ausgabe()
{ for(Listenelement *l = anfang; l; l = l->next)
    l->ausgabe();
}
```

Dann wäre da noch die Member-Funktion "suchen", die aus einer Liste das erste Element herausucht, das im Sinne der Funktion "compare" mit dem Vergleichselement übereinstimmt:

```
Listenelement *Liste::suchen(Listenelement *e1)
{ for(Listenelement *e2 = anfang;
    e2 && e2->compare(e1);
    e2 = e2->next);
  return e2;
}
```

Die Funktion "insert" ist zwar etwas komplizierter, aber das meiste kennen Sie ja schon aus dem ersten Telefonbuchprogramm. Im Gegensatz zur alten Funktion "Einfueg" erzeugt sie kein neues Element (wir befinden uns schließlich auf einer Ebene, wo wir noch überhaupt nicht wissen, welche Art von Daten in der späteren Liste abgespeichert werden sollen), sondern hängt nur ein bereits existierendes Element in die Liste ein. Die Position ermittelt sie anhand der Sortierfunktion "compare" aus der Klasse "Listenelement":

```
void Liste::insert(Listenelement *neu)
{ // Position suchen:
  Listenelement *pos = anfang;
  while (pos && neu->compare(pos) > 0)
  pos = pos->next;

  // Element an Position "pos" in Liste einfügen
  // (prinzipiell genau wie in der ersten Programmversion)
```

```
  if (pos == 0)  // Sonderfall: Anfügen an das Ende der Liste
  { Listenelement *alt = ende;  // altes Listenende

    if (alt != 0) // Allgemeiner Unter-Fall: wirklich anhängen
    { alt->next = neu;
      neu->prev = alt;
      neu->next = 0;
      ende = neu;
    }
    else // Spezieller Spezialfall: Liste ist noch leer
    { neu->next = 0;
      neu->prev = 0;
      anfang = neu;
      ende = neu;
    }
  }
  else
  if (pos->prev == 0)  // Sonderfall: Neues Element
    // an Listenanfang hängen
    { pos->prev = neu;
      neu->next = pos;
      neu->prev = 0;
      anfang = neu;
    }
    else // Allgemeiner Fall: Element in Liste einhängen
    { Listenelement *vor = pos->prev;
      // "neu" zwischen "vor" und "pos" einhängen:
      vor->next = neu;
      neu->prev = vor;
      neu->next = pos;
      pos->prev = neu;
    }
  }
```

Und weiter geht's - mit einer Funktion, die ein Element aus einer Liste aushängt und dann mit `"delete"` vernichtet. Auch diese Funktion leitet sich direkt aus der alten Programmversion ab, und zwar von der Funktion `"Loeschen"`:

```
void Liste::loeschen(Listenelement *E)
  // Löscht das Element, auf das "E" zeigt, aus der Liste
{ // Vorgänger und Nachfolger des zu löschenden Elements
  Listenelement *vor = E->prev, *nach = E->next;

  if (vor)
    // Element hat Vorgänger: Dann dessen Nachfolger umsetzen
    vor->next = nach;
  else // Kein Vorgänger: Dann Listenanfang aktualisieren
    anfang = nach;

  if (nach)
    // Element hat Nachfolger: Dann dessen Vorgänger verändern
```

```
    nach->prev = vor;
  else      // Kein Nachfolger, also Listenende anpassen
    ende = vor;

  delete(E);
}
```

Wow, das war auch schon fast alles - jedenfalls haben wir damit einen leistungsfähigen abstrakten Datentypen implementiert. Jatzt müssen wir nur noch einen ganz konkreten Datentypen, nämlich das bekannte und beliebte Telefonbuch, daraus ableiten.

Zunächst entwickeln wir den Typen **"Eintrag"** aus **"Listenelement"**, d. h. wir leiten eine neue Klasse ab. Später werden wir sehen, daß es sinnvoll ist, wenn jeder weiß, daß ein **"Eintrag"** von einem **"Listenelement"** abgeleitet ist, deshalb erfolgt die Vererbung hier über **"public"**.

Ein Telefonbucheintrag besteht nach wie vor aus einem Namen und einer Nummer, und auch diese sind **"public"**, damit jeder darauf hemmungslos zugreifen kann. Ferner brauchen wir noch einen Konstruktor, denn durch scharfes Nachdenken stellen wir fest, daß es nirgendwo sinnvoll ist, ein uninitialisiertes **"Eintrag"**-Objekt zu haben. Und last not least müssen wir ja auch noch die beiden voll virtuellen Funktionen **"compare"** und **"ausgabe"** definieren, denn **"Eintrag"** soll ja kein abstrakter Datentyp mehr sein:

```
class Eintrag : public Listenelement
{ public:
    char name[30];      // Name und...
    char nummer[20]; // Telefonnummer

    // Konstruktor:
    Eintrag(const char *neuname, const char *neunummer);

    // Funktionen, die virtuelle Funktionen der Basisklasse
    // definieren:
    int compare(const Listenelement*) const;
    void ausgabe() const;
}
```

Auch hier wollen wir die fraglichen Funktionen gleich definieren. Zunächst einmal wäre da der Konstruktor, der ganz einfach seine beiden Argumente in das **"Eintrag"**-Objekt kopieren muß:

```
Eintrag::Eintrag(const char *neuname, const char *neunummer)
:name(neuname), nummer(neunummer) { }
```

Beachtenswerterweise müssen wir hier nicht auf **"strcpy"** wie im ersten Telefonprogramm zurückgreifen, denn bei dieser Schreibweise haben wir es mit einer echten Initialisierung und nicht mit einer Wertzuweisung zu tun, und folglich ist der Compiler gnädigerweise bereit, die Strings ganz einfach so zu initialisieren.

Die Funktion **"compare"** soll das Objekt, auf dem es aufgerufen wird, mit dem Element, auf das ihr Argument zeigt, vergleichen und in Abhängigkeit davon -1, 0 oder +1 zurückgeben. Das läßt

sich im Prinzip mit einem einfachen `"strcmp"` der Namensstrings bewerkstelligen, wobei wir nur darüber stolpern, daß eine Funktion eine virtuelle Funktion nur dann überdeckt, wenn die Argumente absolut identisch sind. Also muß die Funktion hier ein `"Eintrag"` (nämlich `"*this"`) mit einem `"Listenelement"` (das Objekt, auf das das Argument zeigt) vergleichen. Hier müssen wir ganz einfach darauf vertrauen, daß alle Elemente der Liste zur Klasse `"Eintrag"` gehören, und uns mit einer simplen Typkonvertierung behelfen:

```
int Eintrag::compare(const Listenelement* that) const
{ Eintrag *that2 = (Eintrag*) that;
  return strcmp(this->name, that2->name);
}
```

Ich hoffe, daß Sie schon jetzt das nötige „Unrechtsbewußtsein" aufbringen, um diese Funktion nicht so recht zu mögen. Wir haben hier einen Zeiger auf ein „Listenelement" und vertrauen darauf, daß es sich in Wirklichkeit um einen „Eintrag" handelt, und zwar nur deshalb, weil wir nicht vorhaben, Objekte anderer Klassen in die Liste einzutragen. Aber andererseits ist es ja auch wenig sinnvoll, einen Telefonbucheintrag mit einem Regenwurm oder einem spanischen Großinquisitor zu vergleichen, und deshalb ist es durchaus sinnvoll, für die Funktion `"compare"` anzunehmen, daß alle Listenelemente gleicher Art sind.

Außerdem ist es eine verblüffende (und in dieser Form vielleicht nicht für alle Anwendungsgebiete verwendbare) Tatsachen daß wir die Funktion `"compare"` in unserem Datemmodell für zwei verschiedene Zwecke verwenden: Erstens zum Suchen eines Elemente (Test auf Gleichheit) und zweitens zum Sortieren beim Einfügen (wo es im Wesentlichen auf „kleiner" oder „größer-gleich" ankommt). Schließlich weiß jedes Kind, daß es in Los Angeles mindestens drei verschiedene „Sarah Connor" gibt...

Die folgende Funktion ist wenigstens halbwegs unkompliziert: Sie gibt ein Objekt der Klasse `"Eintrag"` aus:

```
void Eintrag::ausgabe() const
{ cout << name << ": " << nummer << "\n";
}
```

Jetzt fehlt uns nur noch die Spezialisierung der Klasse `"Liste"` zum „Telefonbuch". Da wir es bei den Eigenschaften der Klasse `"Liste"` hauptsächlich mit Low-Level-Features zu tun haben, besteht kein Bedarf, diese Basisklasse öffentlich zu machen. Statt dessen vererben wir hier mit Modus `"private"` und machen nur die Member-Funktionen `"ausgabe"` und `"loeschen"` durch Zugriffsdeklarationen `"public"`.

Auf die Member-Funktion `"Liste::insert"` sollte der Benutzer der Klasse nicht zugreifen können, weil er dann ja theoretisch einen Fadenwurm in ein Telefonbuch einfügen könnte, wie Sie sich vielleicht erinnern. Also bleibt `"Liste::insert"` in der privaten Basisklasse verborgen, und wir bieten dem Klassenbenutzer eine Member-Funktion `"Telefonbuch::insert"` an, die als Argumente zwei Strings erwartet und einen entsprechenden Telefonbucheintrag erzeugt sowie in die Liste einfügt. Auch die Funktion `"suchen"` definieren wir neu, um erstens ganz einfach nach

einem Namen suchen zu können (und nicht anhand eines Vergleichselements) und zweitens die Typgleichheit zu garantieren. Daß wir mit "insert" und "suchen" die entsprechenden Funktionen der Basisklasse namensgleich überdefinieren, hat übrigens keine besondere Bedeutung, denn die gleichnamigen Funktionen der Basisklasse sind ja sowieso "protected" und deshalb von außen nicht erreichbar.

Hier ist also die letzte Klassendefinition unseres Programms:

```
class Telefonbuch : private Liste
{ public:
     Eintrag *insert(const char *, const char *);
     Eintrag *suchen(const char *);
     Liste::ausgabe;
     Liste::loeschen;
};
```

Die beiden Member-Funktionen, die es jetzt noch zu definieren gilt, sind vergleichsweise dröge, da sie hauptsächlich auf Funktionen der Basisklasse "Liste" zurückgreifen - und genau das war ja auch unsere Absicht, denn wenn wir einmal den abstrakten Datentypen "Liste" implementiert haben, wollen wir schließlich ohne größeren Aufwand spezielle Listentypen ableiten können. Zuerst also die neue "insert"-Funktion, die nur noch mit "new" ein neues Element erzeugt, es in die Liste einfügt und einen Zeiger darauf (bzw. Null bei Fehler) zurückgibt:

```
Eintrag* Telefonbuch::insert(const char *neuname, const char
*neunummer)
{  // Neues Element erzeugen:
   Eintrag *neu = new Eintrag (neuname, neunummer);

   if (!neu)
     return 0; // Kein Speicher frei!

   // Element in Liste einhängen:
   Liste::insert(neu);
   // Fertig, Zeiger auf neues Element zurückgeben:
   return neu;
}
```

Die Suchfunktion ist noch viel einfacher: Hier erzeugt man aus dem Suchstring ein Vergleichsobjekt (als automatische Variable!) und sucht dieses Element mit der vorhandenen Funktion in der Liste. Nun muß das Ergebnis nur noch mit einem Cast umgewandelt werden, da "Liste::suchen" einen Zeiger auf ein „Listenelement" zurückgibt, hier aber sinnvollerweise ein Zeiger auf "Eintrag" geliefert werden soll, und schon sind wir fertig:

```
Eintrag *Telefonbuch::suchen(const char *name)
{  Eintrag dummy(name," ");
   return (Eintrag*)
   Liste::suchen(&dummy);
};
```

Ob Sie es glauben oder nicht - das war's! Jetzt folgt noch einmal das ganze Programm im Überblick, einschließlich eines kleinen Hauptprogramms, daß die Benutzung unserer Klassen und Funktionen demonstriert.

```
//  Objektorientiertes Telefonlisten-Programm //
//  mit generischen Listenklassen //


#include <stream.h>
#include <string.h>

// * * * abstrakter Datentyp "Listenelement" * * *

class Listenelement
{ private:
     Listenelement *next, *prev; // Vorgänger und Nachfolger

  virtual int compare(const Listenelement*) const = 0;
  // Vergleicht Objekt "*this" mit einem
  // anderen Listenelement
  // und gibt -1, 0 oder +1 zurück (wie bei "strcmp")

  virtual void ausgabe() const = 0;
  // Ein Listenelement ausgeben

  virtual ~Listenelement()  { }
  // Virtueller Destruktor - hier nur ein Dummy, kann aber
  // in abgeleiteten Klassen überdeckt werden

  protected:
  // Kleine Extras: abgeleitete Klassen dürfen
  // "next" und "prev" auslesen:
  Listenelement *getnext() const
  { return next;
  }
  Listenelement *getprev() const
  { return prev;
  }

  friend class Liste;  // Diese später deklarierte Klasse
       // braucht Zugriff auf private Member
};

  // * * * generischer Datentyp "Liste" * * *

class Liste
{ private:
     Listenelement *anfang, *ende;
     // Erstes und letztes Element der Liste
  protected:
     void insert(Listenelement *neu);
     // Sucht eine geeignete Position für das
```

```
    // Element "*neu" und
    // hängt es in die Liste ein

  public:
    Liste(); // Konstruktor zur Initialisierung
    ~Liste();   // Destruktor (löscht alle
                // Listenelemente)
    void ausgabe(); // gibt die ganze Liste aus

    Listenelement *suchen(Listenelement *);
    // Sucht ein Element, das dem Argument-Element
  // "entspricht" (was immer das in einer konkreten Liste
  //  heißen mag - jedenfalls ein Element, bei dem
  // "compare" Null liefert) oder Null, wenn kein solches
  //  Element existiert.

  void loeschen(Listenelement*);
  // Hängt ein Element aus der Liste aus und löscht es
  // mit "delete"
  };

  Liste::Liste()
  { anfang = 0;
    ende = 0;
}

Liste::~Liste()
{ Listenelement *p = anfang;

  while(p)
  { Listenelement *hilf = p;          p=p->next;
  delete hilf;
  }
}

void Liste::ausgabe()
{ for(Listenelement *l = anfang; l; l = l->next)
    l->ausgabe();
}

Listenelement *Liste::suchen(Listenelement *e1)
{ for(Listenelement *e2 = anfang;
  e2 && e2->compare(e1);
  e2 = e2->next);
  return e2;
}

void Liste::insert(Listenelement *neu)
{ // Position suchen:
  Listenelement *pos = anfang;
  while (pos && neu->compare(pos) > 0)
    pos = pos->next;
```

```
  // Element an Position "pos" in Liste einfügen
  // (prinzipiell genau wie in der ersten Programmversion)

    if (pos == 0) // Sonderfall: Anfügen an das Ende der Liste
    { Listenelement *alt = ende;   // Altes Listenende

      if (alt != 0) // Allgemeiner Unter-Fall: Wirklich anhängen
      { alt->next = neu;
        neu->prev = alt;
        neu->next = 0;
        ende = neu;
      }
      else // Spezieller Spezialfall: Liste ist noch leer
      { neu->next = 0;
        neu->prev = 0;
        anfang = neu;
        ende = neu;
      }
    }
    else
      if (pos->prev == 0)
      // Sonderfall: Neues Element an Listenanfang hängen
      { pos->prev = neu;
        neu->next = pos;
        neu->prev = 0;
        anfang = neu;
      }
      else // Allgemeiner Fall: Element in Liste einhängen
      { Listenelement *vor = pos->prev;
        // "neu" zwischen "vor" und "pos" einhängen:
        vor->next = neu;
        neu->prev = vor;
        neu->next = pos;
        pos->prev = neu;
      }
    }

void Liste::loeschen(Listenelement *E)
// Löscht das Element, auf das "E" zeigt, aus der Liste
{   // Vorgänger und Nachfolger des zu löschenden Elements
  Listenelement *vor = E->prev, *nach = E->next;

  if (vor)
    // Element hat Vorgänger: Dann dessen Nachfolger umsetzen
    vor->next = nach;
  else
    // Kein Vorgänger: Dann Listenanfang aktualisieren
    anfang = nach;

  if (nach)
  // Element hat Nachfolger: Dann dessen Vorgänger verändern
```

```
    nach->prev = vor;
  else
  // kein Nachfolger, also Listenende anpassen
    ende = vor;

  delete(E);
}

// * * * spezieller Datentyp "Eintrag" * * *

class Eintrag : public Listenelement
{ public:
    char name[30];// Name und...
    char nummer[20];    // Telefonnummer

        // Konstruktor:
    Eintrag(const char *neuname, const char *neunummer);

  // Funktionen, die virtuelle Funktionen der Basisklasse
  // definieren:
    int compare(const Listenelement*) const;
    void ausgabe() const;
}

Eintrag::Eintrag(const char *neuname, const char *neunummer) :
name(neuname),      nummer(neunummer) { }

int Eintrag::compare(const Listenelement* that) const
{ Eintrag *that2 = (Eintrag*) that;
  return strcmp(this->name, that2->name);
}

void Eintrag::ausgabe() const
{ cout « name « ": " « nummer « "\n";
}

// * * * spezieller Datentyp "Telefonbuch" * * *

class Telefonbuch : private Liste
{ public:// Neues Element erzeugen und einfügen:
    Eintrag *insert(const char *, const char *);

  // Element anhand des Namens suchen:
    Eintrag *suchen(const char *);

  // Zwei Funktionen werden öffentlich vererbt:
    Liste::ausgabe;
    Liste::loeschen;
};

Eintrag* Telefonbuch::insert(const char *neuname, const char
*neunummer)
```

```
{ // Neues Element erzeugen:
  Eintrag *neu = new Eintrag (neuname, neunummer);

  if (!neu)
    return 0; // Kein Speicher frei!

  // Element in Liste einhängen:
  Liste::insert(neu);

  // Fertig, Zeiger auf neues Element zurückgeben:
  return neu;
}

Eintrag *Telefonbuch::suchen(const char *name)
{ Eintrag dummy(name,"");
  return (Eintrag*)
  Liste::suchen(&dummy);
};

// * * *  Hauptprogram  * * *

void main()
{ // Eine Liste wird deklariert und initialisiert:

  Telefonbuch t;

  // Ein paar Beispieldaten werden eingefügt:

  t.insert("Harley-Davidson", "001-414/342-4680");
  t.insert("Boris Becker", "0815/4711");
  t.insert("James Bond", "007/26731");
  t.insert("Maxon", "06196/481811");
  t.insert("Zaphod Beeblebrox", "00042/08154242");
  t.insert("Luxemburg", "00352");
  t.insert("Queensr\0377che", "795069");
  t.insert("Fishbone", "4676152");

   // Ein Datensatz wird gesucht und ggf. gelöscht:

  Eintrag *e = t.suchen("Maxon");
  if (e)
    t.loeschen(e);
  else
    cout « "Name nicht gefunden!\n";

  // Restliche Liste ausgeben:
  t.ausgabe();

  // Löschen der Liste geschieht automatisch durch Destruktor-Aufruf
}
```

3.5 Noch mehr Features

3.5.1 Zeiger auf Member

Zeiger auf Member stellen eigentlich kein objektorientiertes Feature dar, obwohl sie in das objektorientierte Konzept eingebunden sind. Man könnte sie sich durchaus auch als Ergänzung zu C vorstellen.

Die Idee ist, daß man bisweilen nicht über einen Member eines ganz bestimmten Klassen- bzw. Strukturobjekts, sondern nur über einen Member an sich „sprechen" will. Rein implementatorisch ist ein Member-Pointer kein wirklicher Zeiger, sondern der Offset eines bestimmten Members innerhalb einer Struktur, und konkret deklariert man solche Datentypen wie folgt:

```
struct S
{ int i, j;
  char *s;
  int k;
};

S s1, s2, s3;

int S::* pims;
```

Diese überaus komplizierte Syntax deklariert `"pims"` als Zeiger auf einen `"int"`-Member von `"S"`. Prinzipiell werden Zeiger-auf-Member-Typen wie gewöhnliche Zeiger deklariert, nur daß eben der `"*"` mit einem Klassennamen qualifiziert wird. So weit, so gut, fehlt nur noch der praktische Nutzen derartiger Zeiger. Wir können die Variable `"pims"` jetzt mit einem Member von `"S"` initialisieren, aber nicht mit einem Member eines bestimmten Objekts, sondern nur mit einem Member-Namen, und der wird naturgemäß qualifiziert, und natürlich muß man, weil es sich ja angeblich um einen Zeiger handelt, dazu den unären Operator `"&"` verwenden:

```
void main()
{ pims = &S::i; // Fortsetzung folgt...
```

OK, jetzt enthält `"pims"` (falls Sie sich immer noch über diesen Namen wundern: das soll „Pointer to Int-Member of S" heißen) eine interne Repräsentierung des Offsets von `"i"` in `"S"`. Jetzt können wir über `"pims"` auf Member von beliebigen `"S"`-Objekten zugreifen, und weil `"pims"` so initialisiert ist, erwischen wir jeweils den Member `"i"`:

```
  s1.*pims = s2.*pims;
}
```

Diese Anweisung kopiert also einen `"int"`-Member von `"s2"` in einen Member von `"s1"`, und da `"pims"` so initialisiert ist, handelt es sich jeweils um den Member `"i"`. Dabei ist `".*"` nicht eine Zusammenstellung von `"."` und `"*"`, sondern ein eigenständiger binärer Operator. Analog dazu gibt es auch noch `"->*"`, wobei

```
x->*y
```

und

```
(*x).*y
```

einander entsprechen, z. B.:

```
S *sptr = &s3;

sptr->*pims = foo;
```

Wozu das alles gut sein soll? Nun, mit Pointern auf Member kann man z. B. Member so ähnlich wie Vektor-Elemente behandeln:

```
struct S
{ int foo, bar, sucker;
};

int S::* nr(int i) // Gibt Zeiger auf den "i"-ten Member
                   // von "S" zurück
{ switch (i)
  { case 0:
      return &S::foo;
    case 1:
      return &S::bar;
    case 2:
      return &S::sucker;
    default: // Panik
  }
}

void main()
{ S s1;

  // Initialisiere "s1" wie einen Vektor:
  for (int i=0; i<3; ++i)
    s1.*nr(i) = 42 + i;

}
```

Es gibt wie bei normalen Zeigern einen ausgezeichneten Wert, nämlich `"0"`, den ein Member-Zeiger niemals auf „normalem" Wege annehmen kann, d. h. es ist garantiert, daß `"&x::y"` immer einen von Null verschiedenen Wert liefert. Deshalb kann man die (eigentlich numerische) Konstante `"0"` benutzen, um anzuzeigen, daß ein Member-Pointer momentan auf „nichts" zeigt, wie im folgenden (wenig sinvollen) Beispiel:

```
struct S    { char *cp1, cp2; };

char * S::* stringmemberA = &S::cp1, * S::* stringmemberB = 0;

void f(S *sp)
{ if(stringmemberA != 0 && stringmemberB == stringmemberA)
```

```
    sp->*stringmemberA = "Oh no, Babe!";
}
```

Rein praktisch wird das in MaxonC++ so gelöst, daß ein Pointer auf Member nicht direkt durch den Offset dieses Members in der Klasse bzw. Struktur dargestellt wird, sondern um 1 größer ist, d. h. ein Zeiger auf den allerersten Member einer nicht abgeleiteten Struktur hat den Wert 1. Übrigens sehen Sie oben auch, daß man Member-Zeiger mit den üblichen Operatoren vergleichen kann. Additionsoperatoren wie bei „normalen" Zeigern gibt es hier aber nicht - logisch, denn eine Struktur ist kein Vektor, und deshalb kann man nicht davon ausgehen, daß vor oder hinter einem Member ein weiterer Member gleichen Typs liegt.

Ansonsten wäre noch zu erwähnen, daß die objektorientierten Konzepte hier natürlich ebenfalls unterstützt werden. Im folgenden Beispiel sehen Sie, daß man einen Pointer auf einen Member einer Basisklasse direkt in einen Zeiger auf einen Member einer abgeleiteten Klasse umwandeln kann, während man für die umgekehrte Konvertierung einen Cast braucht:

```
struct Base
{ double d;
};

class Klasse: public Base
{ public:
    double e;
};

Base b;   Klasse c;

double Klasse::* kmp = &Base::d;

double Base::* bmp = (double Base::*) &Klasse::e;
```

Die Typregeln sind also genau umgekehrt wie bei Zeigern, wo man einen Zeiger auf eine abgeleitete Klasse ohne weiteres als Zeiger auf die Basisklasse verwenden kann und im umgekehrten Fall casten muß. Diese Regelung ist so aber durchaus sinnvoll, denn jede „Klasse" enthält eine „Basis", weshalb man einen Zeiger auf einen „Basis"-Member gewiß ohne Gefahr in einem „Klasse"-Objekt anwenden kann, während die Benutzung eines Zeigers auf einen „Klasse"-Member in einem „Basis"-Objekt voraussetzt, daß wir über die wahre Natur der Objekte, auf die wir diesen Zeiger später anwenden wollen, Bescheid wissen - es muß nämlich nicht nur eine „Basis", sondern sogar eine „Klasse" sein. Folgerichtig wird für diese haarige Typwandlung ein Cast verlangt.

Bei virtueller Vererbung funktionieren derartige Umwandlungen überhaupt nicht:

```
class B
{ public:
    int i;
};

class C: public virtual B
{ public:
```

```
    int j;
};

int B::* bmp = &B::i;

int C::* cmp = bmp;   // ERROR
```

Das ist, wenn man es implementatorisch sieht, auch völlig klar: Die Basisklasse `"B"` hat in `"C"` keinen festen Offset, statt dessen gibt es dort einen Zeiger auf die virtuelle Basisklasse, die weiß-der-Geier-wo liegen kann. Bei gewöhnlichen Adressumwandlungen, bei denen man es mit konkreten Objekten zu tun hat, ist das kein Problem, denn da kann man sich ja an diesen Zeigern entlanghangeln. Zeiger auf Member beziehen sich aber nicht auf ein konkretes Objekt, sondern auf eine Klasse an sich und können ohne jegliche existierende Klasseninstanz benutzt werden, also fällt das Verfolgen von Zeigern hier naturgemäß wohl aus.

Wenn Sie mich fragen, Zeiger auf Member sind die Lösung, nur hat noch niemand das Problem dazu gefunden. Es ist ein nettes kleines Feature, das man in der Praxis aber wohl von allen C++-Spielzeugen am seltensten brauchen wird.

3.5.2 Konvertierungsfunktionen

Ein Konstruktor mit einem einzelnen Argument kann bekanntlich einen beliebigen Ausdruck in ein Klassenobjekt verwandeln, etwa so:

```
class Eugen
{ int i;
  public:
    Eugen(int j)
    { i = j;
    }
};

void main()
{ int x = 1992;
  Eugen E1 = x;     // (1)
  E1 = x+2;           // (2)
}
```

Bei der Initialisierung (1) wird der Konstruktor direkt auf das Zielobjekt angewandt (d. h. `"this"` zeigt auf `"E1"`), während (2) eine gewöhnliche Wertzuweisung ist, weshalb der Compiler hier ein temporäres Objekt einführt, das er mit dem Wert `"x+2"` initialisiert, bevor er es in das eigentliche Zielobjekt `"E1"` kopiert (wie Sie sich vielleicht erinnern, unterscheidet C++ scharf zwischen Initialisierungen und Wertzuweisungen).

Weil das so toll ist (immerhin kann man ein Programm durch solche implizit aufgerufenen, anwender-definierten Typwandlungsfunktionen beliebig unübersichtlich gestalten), stellt sich natürlich die Frage, ob das vielleicht nicht auch umgekehrt geht, also eine Umwandlungsfunktion von einer Klasse nach einem beliebigen anderen Datentypen.

Im Prinzip will man also einen Konstruktor für "int" einführen, der als Argument ein Objekt der Klasse "Eugen" erwartet. Gegen diese Idee sprechen aber mindestens zwei Punkte: Erstens fällt einem dafür auf Anhieb keine anschauliche Syntax ein (Konstruktoren werden immer in der Klassendefinition, und wo zum Geier "definiert" man den Standardtypen "int") und zweitens und vor allen Dingen könnte dann jemand auf die Idee kommen, z. B. die Umwandlung zwischen "int" und "double" auf eine eigene originelle Methode zu definieren, was der Konsistenz des Sources natürlich nicht gerade zuträglich ist. Also geht man einen etwas anderen Weg: In einer Klasse kann man Konvertierungsfunktionen deklarieren, die ein Objekt dieser Klasse in einen beliebigen anderen Datentypen umwandeln und vom Compiler auch implizit, d. h. automatisch und ohne besondere Aufforderung, aufgerufen werden.

Der „Name" einer Konvertierungsfunktion besteht aus dem Wortsymbol "operator" und der Beschreibung des Typs, in den umgewandelt werden soll. Obwohl das in gewissem Sinne der Ergebnistyp der Funktion ist, darf man keinen Ergebnistypen explizit deklarieren, und natürlich hat eine Konvertierungsfunktion keine Argumente außer dem "this"-Zeiger auf ein Klassenobjekt. Ein Beispiel:

```
class HinUndHer
{  char test[20];
   public:

      HinUndHer() // Default-Konstruktor
      {  test[0] = 0;
      }

      HinUndHer(const char *init)  // Noch ein Konstruktor
      : test(init)
      {  }

      operator char*() // Konvertierung nach char*
      {  return test;
      }

      operator int();     // Noch eine Konvertierung

};

#include <string.h>
#include <stream.h>

HinUndHer::operator int()
{  return strlen(test);
}

void main()
{  int i;
   char *cp;

   HinUndHer h1 = "Beispiel", h2 = "Test";
```

```
    cp = h1;  // cp zeigt auf "Inhalt" von h1

    i = h2;// Länge des "Inhalts" von h2

    cout « cp « i;

}
```

Dieses Programm gibt `"Beispiel4"` aus. Ohne daß man einen Cast oder einen anderen Hinweis zur Typkonvertierung angeben müßte, wandelt der Compiler `"HinUndHer"`-Objekte nach `"int"` oder `"char*"` um, indem er klammheimlich die entsprechenden Konvertierungsfunktionen aufruft.

Natürlich werden solche Funktionen (wie alle anderen Member-Funktionen auch) vererbt und können virtuell sein.

Es kann (theoretisch) vorkommen, daß der Compiler sich nicht zwischen einer Konvertierungsfunktion und einem Konstruktor entscheiden kann:

```
class A;

class B
{ public:
     B(A&);
     B();
};

class A
{ public:
     operator B();
};

void main()
{ A a;
  B b;

  b = a; // Konstruktor oder Konvertierung???
}
```

In diesem (relativ krankhaften) Fall meldet der Compiler einen entsprechenden Fehler.

Außerdem ruft er beim Versuch einer Typwandlung höchstens eine Konvertierungsfunktion auf und nicht zwei nacheinander:

```
class X
{ public:
     operator long int();
};

class Y
{ public:
```

```
    operator X();
};

void main()
{ Y y1;
  long int l1 = y1,  // ERROR
  l2 = X(y1),          // So geht's
  l3 = y1.operator X().operator long int();
}
```

In solchen Fällen muß man sich eben behelfen, indem man (wie oben auf zwei verschiedene Arten geschehen) dem Compiler ausdrücklich klar macht, wie er die Typen ineinander umzuwandeln hat.

3.5.3 Temporäre Objekte

Mehrfach war schon die Rede von „temporären Objekten", die der Compiler ohne Zutun des Programmierers erzeugt, wenn es gerade nötig ist. Eigentlich gibt es darüber fast nichts zu sagen, denn erstens ist es in hohem Maße implementationsabhängig, ob und wann ein bestimmter Compiler ein solches Objekt erzeugt und wieder löscht, und zweitens ist die ganze Angelegenheit so konzipiert, daß alles so funktioniert, wie der Programmierer es erwartet. Nur manchmal wird es tückisch, und deshalb soll hier doch etwas näher auf das Thema eingegangen werden.

Ein temporäres Objekt ist eine Variable eines Struktur- bzw. Klassentyps, die der Compiler einrichtet, um kurzfristig ein Objekt zwischenzuspeichern. Naheliegenderweise werden sie von MaxonC++ im automatischen Speicher, also auf dem Stack, eingerichtet, aber solche Details sind implementationsabhängig. Der Programmierer kann sich aber darauf verlassen, daß temporäre Objekte genau wie alle anderen behandelt werden, insbesondere daß sie mit den jeweils richtigen Konstruktoren initialisiert werden und daß nachher (falls vorhanden) ein Destruktor aufgerufen wird. Wann solche Destruktoraufrufe erfolgen oder der Speicherbereich, in dem das temporäre Objekt lag, wieder für andere Zwecke benutzt wird, ist aber implementationsabhängig und für den Programmierer wenig interessant. Theoretisch könnte ein Compiler temporäre Objekte jeweils mit `"new"` erzeugen und erst am Programmende kollektiv destruieren und ihren Speicher freigeben - ein Verfahren, das zwar alles andere als effektiv (im Laufe der Zeit können sich dabei zahllose „Leichen" ansammeln, die nichts als Speicher verbrauchen), aber durchaus erlaubt und überdies auf der sicheren Seite liegt. Keine Angst, MaxonC++ wählt natürlich ein wesentlich effektiveres Verfahren.

Vielleicht sollte ich Ihnen endlich verraten, wann temporäre Objekte typischerweise eingerichtet werden. Nun, im Prinzip müssen Sie immer damit rechnen. Bei einer so harmlosen Initialisierung wie

```
class C
{ // usw.public:
  C();
  C(const C&);  // Copy-Konstruktor
   ~C();
};
```

```
void main()
{ C c1;
  C c2 = c1;
}
```

kann es theoretisch passieren, daß der Compiler bei der Initialisierung von `"c2"` durch `"c1"`, wo eigentlich bloß der Copy-Konstruktor anzuwenden ist, 42 zusätzliche temporäre Objekte einrichtet, dann das erste mit `"c1"` initialisiert, das zweite mit dem ersten, das dritte mit dem zweiten, ... und schließlich `"c2"` mit dem 42-ten temporären Objekt initialisiert (natürlich stets unter korrekter Anwendung des Kopier-Konstruktors) und anschließend auf jedes der 42 Phantomobjekte den Destruktor anwendet. Das Beispiel ist natürlich etwas übertrieben, aber daß es „dumme" Compiler gibt, die in einer solchen Situation ein temporäres Objekt einführen, sollte man stets als Möglichkeit bedenken. Das klingt jetzt aber viel schlimmer als es ist, denn als Programmierer wird man Konstruktoren und Destruktoren rein intuitiv ohnehin so definieren, daß eine zusätzliche Initialisierung keine Probleme bereitet.

Jetzt ein Beispiel, wo jeder Compiler ein temporäres Objekt einführen muß:

```
struct S
{ int i;
};

S f();

void main()
{ int j = f().i;
}
```

Die Funktion `"f"` gibt, wie man so schön sagt, ein Objekt des Typs `"S"` zurück. In Wirklichkeit muß man ihr natürlich beim Aufruf sagen, wo sie das Ergebnis abzulegen hat, denn im Gegensatz zu skalaren Werten kann man eine Struktir nicht so ohne weiteres in einem Prozessorregister ablegen (OK OK, hier würde es natürlich zufällig klappen, aber lassen wir das). Also erzeugt der Compiler ein temporäres Objekt, in das `"f"` ihr Ergebnis kopieren kann, und ermöglicht dann den Zugriff auf den Member `"i"` dieses Objekts. Anschließend hat der Mohr seine Schuldigkeit getan und kann gehen, sprich: das Objekt kann irgendwann später gelöscht werden.

Damit wären wir auch schon (wieder) bei einem haarigen Thema, einer potenten Quelle schier unentdeckbarer Bugs und tiefster Frustration: Bisweilen existieren temporäre Objekte weniger lange, als einem lieb ist. Modifizieren wir das obige Beispiel doch ein wenig:

```
struct S
{ char str[20];
};

S f()
{ S erg = { "Saratoga" };
  return erg;
}
```

```
#include <stream.h>

void main()
{ char *cp = f().str;

  cout « cp;
}
```

Die Funktion `"f"` hat ein lokales Objekt namens `"erg"`, das sauber initialisiert und beim `"return"` in das Zielobjekt kopiert wird. In diesem Programm ist das Zielobjekt aber wieder ein temporäres, und nun wird der `"char"`-Zeiger `"cp"` auf einen Member dieses temporären Objekts gesetzt. Die Folgen können fatal sein, denn wenn wir `"cp"` später benutzen, z. B. mit `"cout"` ausgeben, existieren das temporäre Objekt und mit ihm seine Member höchstwahrscheinlich nicht mehr! So etwas kann zu netten Überraschungen führen und man kann so etwas eigentlich nur vermeiden, wenn man mit Funktionen, die ein Objekt zurückgeben, höllisch vorsichtig ist.

Herzlichen Glückwunsch - Sie haben das Kapitel über die objektorientierten Features von C++ überstanden! Es folgen noch ein kurzes Kapitel über Möglichkeiten und Grenzen des Überladens und ein noch kürzers Kapitel zum Thema Preprozessor, und schon ist die C++-Sprachbeschreibung komplett - also keine Panik!

4. Überladen

4.1 Überladene Funktionen

4.1.1 Was man darf, und was nicht

Überladene Funktionen wurden in diesem Handbuch schon einige Male erwähnt, aber noch nicht wirklich formal (also mit allen Regeln, die dazu gehören) behandelt. Also soll in diesem Kapitel genau davon Rede sein.

Im Prinzip kann man jeden Funktionsnamen beliebig überladen, nur mit der Einschränkung, daß Funktionen mit identischen Parameterlisten keine unterschiedlichen Ergebnisse haben dürfen:

```
int f(int);

char *f(int);          // ERROR
```

Im Zusammenhang mit überladenen Funktionen sollte man zwischen den Begriffen „Funktion" und „Funktionsname" unterscheiden. Ein Funktionsname ist ein Bezeichner, der für mehrere Funktionen eines Scopes stehen kann. In Wirklichkeit gibt es also keine überladenen Funktionen, sondern überladene Namen, und das hat auch Konsequenzen:

```
class B
{ public:
   int funk(int);
};

class C: public B
{ public:
   char *funk(char*);
};

void main()
{ C c1;
   c1.funk(42);   // ERROR
}
```

Die Klasse `"C"` erbt zwar aus `"B"` eine Funktion namens `"funk"`, aber da sie selbst einen identischen Funktionsnamen deklariert, wird `"B::funk"` von `"C::funk"` vollständig überdeckt, obwohl die Parameterlisten doch völlig unterschiedlich sind. Deshalb kennt der Compiler in `"C"` nicht mehr ohne weiteres `"B::funk"` und akzeptiert kein `"int"`-Argument mehr für `"funk"`.

Es gibt noch einige andere Problemfälle von Funktionen, bei denen der Compiler nicht herausfinden kann, welche Funktion gemeint ist:

```
void g();

void g(int i = 0);
```

```
void main()
{ g(); // ERROR
}
```

Beide Funktionen können formal ohne Argumente aufgerufen werden, so daß der Compiler beim Funktionsaufruf `"g()"` nicht weiß, welche von beiden er nehmen soll. Prinzipiell kann ein Compiler solche Konflikte schon bei der Funktionsdeklaration erkennen und schon dort einen Fehler melden. MaxonC++ ist aber nicht ganz so schlau und entdeckt erst bei einem derartigen Funktionsaufruf, daß da etwas nicht ganz richtig sein kann. Aber das gehört schon fast in den folgenden Abschnitt, der davon handelt, nach welchen Regeln der Compiler bei überladenen Funktionsnamen anhand der Argumente die richtige Funktion herausfindet:

4.1.2 Was der Compiler davon hält

4.1.2.1 Die Hierarchie der Typwandlungen

Der einfachste Fall liegt vor, wenn eine Funktion mit genau einem Argument aufgerufen wird. Zunächst ist, auch wenn es trivial ist, zu erwähnen, daß der Compiler nur die Funktionen dieses Namens betrachtet, die auch mit einem einzelnen Argument aufgerufen werden können, d. h. solche Funktionen, die

- genau einen Parameter besitzen oder
- für alle Parameter (bzw. alle außer dem ersten) ein Default-Argument besitzen oder
- als Parameterliste nur die Ellipse `"(...)"` besitzen.

Nehmen wir also an, wir hätten einen geradezu üppig überladenen Funktionsnamen `"f"`:

```
void f();
int  f(int, int);
int  f(int);
void f(double);
void f(...);
short  f(char*, ...);
char f(char c1, char c2 = '?');
double f(float);
double f(struct S*);
```

Bei einem Funktionsaufruf wie `"f(x)"` für einen beliebigen einzelnen Ausdruck `"x"` bleiben davon folgende Funktionen im Rennen:

```
f(int);
f(double);
f(...);
f(char*, ...);
f(char c1, char c2 = '?');
f(float);
f(struct S*);
```

Die Ergebnistypen habe ich hier absichtlich weggelassen, denn sie spielen in der weiteren Analyse keine Rolle.

So weit, so cool. Bekanntlich gibt es in C++ eine Fülle von Typkonvertierungen, so daß ein Argument vom Compiler in einen passenden Parameter verschiedener Typen verwandelt werden kann. In einem Ausdruck wie `"f(0)"` könnte jede der oben aufgelisteten Funktionen gemeint sein. Um hier eine gewisse Klarheit zu schaffen, gibt es in C++ eine gewisse Hitliste der Typwandlungen:

1. Exakte Übereinstimmung der Datentypen
   Wenn es eine Funktion gibt, deren Parametertyp mit dem Argumenttyp identisch ist, macht diese natürlich das Rennen. Also würde `"f(17)"` zu einem Aufruf von `"f(int)"` führen. Dieser Fall ist gleichermaßen für den Compiler wie für den Programmierer der einfachste und eindeutigste. Wenn man sich gerade über die Typregeln nicht sicher ist, kann man natürlich immer mit einer expliziten Typwandlung, etwa `"f(int(x))"`, eine solche exakte Übereinstimmung erzwingen und ist so vor unliebsamen Überrschungen geschützt.

2. Triviale Typumwandlungen
   Die folgenden Umwandlungen gelten für jeden Datentypen „T" als trivial:

   ```
   T  -> T&
   T& -> T
   T[x] -> T*
   T  -> const T// x
   T  -> volatile T  // x
   T* -> const T*  // x
   T* -> volatile T* // x
   T(arg)  -> (*T)(arg)
   ```

   Die letzte Regel soll die Umwandlung eines Funktionsnamens in einen Zeiger auf eine Funktion symbolisieren.

   Eine Typwandlung, die ausschließlich diesen Regeln folgt, gilt als trivial, auch dann, wenn sie aus einer Folge solcher Konvertierungen besteht (z. B. `T& -> const T`).

   Es gibt hier noch eine Unterhierarchie: Die Umwandlungen, die oben mit einem `"x"` gekennzeichnet wurden, gelten als schlechter als die übrigen. Entsprechend sind auch Folgen trivialer Konvertierungen, die diese Konvertierungen enthalten, schlechter als solche, die ausschließlich aus den anderen bestehen.

3. Aufsteigende Konvertierungen
   Wie Sie sich vielleicht erinnern, rechnet C++ im wesentlichen mit 6 verschiedenen Datentypen, das sind

   ```
   int       unsigned int      long    unsigned long
   double    long              double
   ```

   Es steht einer Implementierung frei, auch in `"float"` Berechnungen auszuführen, wenn alle Operanden eines Operators `"float"` sind, und MaxonC++ tut dies auch. Ansonsten braucht sich der Compiler mit kleineren Typen gar nicht abzugeben und wandelt bei Berechnungen

Ausdrücke der „kleinen" Typen **"short"** und **"char"** (jeweils sowohl vorzeichenlos als auch vorzeichenbehaftet) in **"int"** um. Wenn eine Implementierung die oben erwähnten Berechnungen im **"float"**-GBereich nicht bietet, wandelt sie **"floats"** nach **"double"** um.

Damit man diesen Mechanismus auch bei überladenen Funktionen benutzen kann, gelten die Umwandlungen

```
char   unsigned char   signed char   -> int              short
unsigned short
```

sowie

```
float  -> double
```

als „aufsteigende Umwandlungen" (neudeutsch „Promotions") und stellen die dritte Stufe der Konvertierungshierarchie von C++ dar. Folgen von Typumwandlungen, die nur solche aufsteigenden Umwandlungen und eventuell auch die oben erwähnten trivialen Konvertierungen enthalten, sind besser als alle nachfolgend aufgelisteten Umwandlungen.

Was Sie als Programmierer davon haben? Nun, um eine numerische Funktion, z. B. den absoluten Betrag, auf allen numerischen Datentypen so zu definieren, daß es für jedes numerische Argument genau eine passende Funktion gibt, reicht es, wenn Sie sechs verschiedene Funktionen definieren, z. B. so:

```
int Abs(int);
unsigned Abs(unsigned);
long Abs(long);
unsigned long Abs(unsigned long);
double Abs(double);
long double Abs(long double);
```

In MaxonC++ sind natürlich **"int"** und **"long"** praktisch identisch und diese Unterschiedung ist nur für den Compiler von Bedeutung. Wenn Sie die speziellen Features von MaxonC++ nutzen wollen, kämen auch noch

```
long long Abs(long long);
unsigned long long Abs(unsigned long long);
```

dazu, aber das ist bekanntlich nicht Standard.
Natürlich haben Sie auch noch die Möglichkeit, die **"Abs"**-Funktion für weitere Parametertypen, z. B. **"short"**, zu definieren, ohne die Eindeutigkeit von Funktionsaufrufen zu beeinträchtigen: Bei **"Abs"** mit einem **"short"**-Argument würde eben jene zusätzliche Funktion aufgerufen, während **"unsigned short"**- oder **"char"**-Argumente weiter nach **"int"** expandiert würden.

Umgekehrt gibt es aber Probleme, wenn Sie einen der sechs Typen auslassen: Wenn z. B. **"Abs(unsigned)"** nicht deklariert wird, weiß der Compiler nicht, was er tun soll, wenn **"Abs"** mit einem **"unsigned"**-Argument aufgerufen wird, denn sowohl die Umwandlung

nach `"int"` als auch die nach `"long"` oder `"unsigned long"` fällt schon in die nachfolgende Kategorie (nebenbei bemerkt ist es natürlich ziemlich schwachsinnig, die Betragsfunktion auf vorzeichenlosen Datentypen zu definieren, aber es sollte ja auch bloß ein Beispiel sein).

4. Standard-Konvertierungen
   Diese Kategorie umfaßt alle vordefinierten Typumwandlungen, die oben noch nicht erwähnt wurden, nämlich

- alle sonstigen Umwandlungen zwischen numerischen Datentypen, beispielsweise von `"double"` nach `"signed char"` und was Ihnen noch so alles an möglichen Kombinationen einfällt,
- die Umwandlung der Konstanten „0" in einen Zeiger,
- die Konvertierung eines beliebigen Zeigertyps nach `"void*"`,
- Umwandlungen eines Zeigers auf eine Klasse in einen Zeiger auf eine direkte oder indirekte Basisklasse davon,
- die analoge Umwandlung zwischen Referenzen,
- Konvertierungen von Pointern auf Member in einen jeweils passenden Memberzeiger einer abgeleiteten Klasse.
- die Umwandlungen von einer abgeleiteten Klasse in eine ihrer Basisklassen.

   Bei den Zeigerumwandlungen gibt es aber noch eine Unter-Hierarchie: Wenn von einer Klasse `"A"` eine Klasse `"B"` und davon wiederum eine Klasse `"C"` abgeleitet wurde, ist die Umwandlung von `" C* "` nach `" B* "` besser als die von `" C* "` nach `" B* "`. Hier geht also die „Tiefe" einer solchen Umwandlung in ihre Güte mit ein. Für Referenzen auf Klassen sowie für Klassen selbst gilt analoges, und bei Zeigern auf Member ist es entsprechend umgekehrt, d. h. hier ist `"A::* -> B::*"` besser als `"A::* -> C::*"`.

   Damit wären alle Typkonvertierungen erwähnt, die der Compiler „von Natur aus" kennt. Typwandlungen, die in die Kategorie der Standard-Konveriterungen fallen, sind schlechter als die davor beschriebenen Konvertierungen, aber stets besser als vom Anwender (also dem Programmierer (also Ihnen)) deklarierte Konvertierungsfunktionen:

5. Anwenderdefinierte Konvertierungen
   Der Programmierer kann bekanntlich auch selbst Regeln zur Typwandlung deklarieren, und zwar in Form von Konstruktoren und Konvertierungsfunktionen. Der Compiler berücksichtigt bei Gelegenheit derartige Typwandlungen und führt bei Bedarf sowohl vorher als auch nachher Standard-Konvertierungen durch. Er versucht aber nicht, mehrere anwenderdefinierte Konvertierungen nacheinander auszuführen.

   Typwandlungen, die anwenderdefinierte Konvertierungen benutzen, sind schlechter als alle anderen, wobei es in der Hierarchie keinen Unterschied zwischen Konstruktoren und Konvertierungsfunktionen gibt.

Vielleicht fühlen Sie sich jetzt diskriminiert und zurückgesetzt, weil der Compiler „Ihre" Typkonvertierungen für „schlechter" als seine eigenen hält, obwohl Sie doch sicherlich intelligenter als so ein dummer Compiler sind. Das ist aber nicht wirklich so, denn in den meisten Fällen treten Sie hier gewissermaßen „außer Konkurrenz" an: Mit einem Konstruktor können Sie festlegen, wie ein beliebiger (z. B. numerischer) Wert in ein Klassenobjekt umgewandelt wird, und Konvertierungsfunktionen behandeln die umgekehrte Wandlung eines Klassenobjekts in irgendeinen anderen Ausdruck. Für solche Umwandlungen gibt es aber bekanntlich keine Standard-Konvertierungen.

Außerdem tröstet es Sie vielleicht, daß es bei Funktionsaufrufen auch noch eine „Konvertierung" gibt, die noch schlechter als ihre anwenderdefinierten ist:

6. Funktionsaufruf mit Ellipse
   Die Übergabe eines Arguments als „Ellipsen-Parameter" ist schlechter als alle anderen Parameterübergaben, auch wenn diese mit noch so schlechten Typkonvertierungen erfolgen. Das heißt in der Praxis, daß eine Funktion `"f(...)"` nur aufgerufen wird, wenn es wirklich keine andere Funktion namens `"f"` gibt, auf die das Argument irgendwie paßt.

Oft besteht eine Typkonvertierung aus mehreren Schritten, z. B. erst von `"int"` nach `"int&"` und dann nach `"const int&"`, was jeweils unter die Rubrik „triviale Umwandlung" fällt. Wenn der Compiler bewerten soll, welche von zwei Typkonvertierungen die Bessere ist, zählt ausschließlich der jeweils schlechteste Einzelschritt. Das hat bisweilen unangenehme Konsequenzen: Nehmen wir an, Sie versehen eine Klasse mit einer Konvertierungsfunktion nach `"const char*"`.

Da man Daten dieses Typs normalerweise mit `"cout"` ausgeben kann, liegt es nahe, das auch direkt mit einem Klassenobjekt zu tun:

```
#include <stream.h>

class C
{ char Inhalt[20];
  public:
    operator const char*();
};

void main()
{ C c1;
  cout « c1;  // ERROR: Ambiguous function call
}
```

Wieso das? Nun, mit `"cout"` kann man zwar `"const char*"`-Objekte, also Strings, ausgeben. Außerdem gibt es aber noch (neben vielen anderen, die uns hier nicht interessieren) die Möglichkeit, ein `"const void*"` auszugeben, nämlich die hexadezimale Adresse eines Objekts. Der Compiler hat nun zwei Möglichkeiten, `"c1"` in ein Argument für `"cout «"` umzuwandeln: Einerseits die kanonische, im obigen Beispiel vom Programmierer wohl gemeinte einfache Umwandlung

```
C ->const char*
```

und andererseits die Konvertierungsfolge

```
C ->const char* ->const void*
```

Überraschung, Überraschung: Für den Compiler sind diese Konvertierungen gleichwertig, denn es zählt ja jeweils nur der schlechteste Schritt, hier also die anwenderdefinierte Konvertierungsfunktion. Eine nachfolgende Standardkonvertierung, z. B. von `"const char*"` nach `"const void*"`, fällt dann nicht mehr ins Gewicht.

Es ist aber durchaus möglich, Klassen bequem und direkt auszugeben, indem man den Operator `"«"` überlädt. Dazu lesen Sie in 4.2.2.7 mehr.

4.1.2.2 Matching von Funktionsargumenten

Aus der obigen Hierarchie ergibt sich direkt, welche Funktion aufgerufen wird, wenn nur ein Argument übergeben wird: Der Compiler sucht sich aus allen Funktionen dieses Namens gerade die heraus, die nach dieser Hierarchie am besten paßt - oder sagen wir besser „passen", denn es kann durchaus auch mehrere Funktionen geben, die „gleich gut" sind:

```
void f(int);
void f(double);

void main()
{ int i;
  short s;
  unsigned u;

  f(i);   // OK, exakte Übereinstimmung mit "int"

  f(s);   // OK: aufsteigende Konvertierung nach "int", aber
          // nur Standard-Konvertierung nach "double"

  f(u);   // ERROR: ambiguous function call!
          // unsigned -> int und unsigned -> double sind
          // jeweils Standard-Konvertierungen, also gleich
          // schlecht!
}
```

So weit, so gut - aber was ist, wenn einer Funktion mehrere Argumente übergeben werden? Auch dann haben wir es mit einer ziemlich einfachen Regel zu tun, die man am besten mit einer Mengen-Terminologie (hat nichts mit Terminatoren zu tun) ausdrückt. Hier betrachtet der Compiler zunächst jeden Parameter einzeln und ermittelt dabei genau wie zuvor die Funktionen, bei denen dieses einzelne Argument am besten paßt. Das Ergebnis ist also eine Memge von Funktionen. Wenn er das für jedes Argument getan hat, bildet er die Schnittmenge über alle diese Mengen.

Oder, um es anders zu formulieren: Die Funktion, die insgesamt am besten paßt, ist gerade die, die bei jedem einzelnen Parameter zu den besten gehört. Es kann hier mehrere dieser Funktionen geben - oder auch gar keine.

Betrachten wir ein einfaches Beispiel mit zwei Funktionen, die jeweils drei Parameter besitzen:

```
int d(int, int, int);              // Funktion (a)
long d(long, double, double);  // Funktion (b)

void main()
{ int i1, i2, i3;
  char c1;
  unsigned u1, u2, u3;
  long l1, l2, l3;
  double d1, d2, d3;
  float f1, f2, f3;

  d (d1, c1, l1);  // (1) OK

  d (i1, d2, u3);  // (2) ERROR

  d (f1, f2, f3);  // (3) OK

  d (u1, l2, l3);  // (4) ERROR
}
```

Zwei der Funktionsaufrufe sind für den Compiler eindeutig und die beiden anderen eben nicht. Gehen wir doch einmal die vier Beispiele langsam und zum Mitdenken durch:

(1) Als erstes Argument wird ein `"double"` übergeben, und sowohl nach `"int"` als auch nach `"long"` haben wir es mit einer Standard-Konvertierung zu tun. Also ist die Funktionsmenge für das erste Argument `{a, b}`. Das zweite Argument vom Typ `"char"` kann mit einer aufsteigenden Konvertierung in ein `"int"` verwandelt werden, was besser als die Standard-Konvertierung nach `"double"` ist. Also ist die zweite Menge `{a}`, während wir beim letzten Argument wieder zwei Standard-Konvertierungen gleicher Güte vorliegen haben (Menge `{a, b}`). Die Schnittmenge von `{a, b}`, `{a}` und `{a, b}` ist bekanntlich `{a}`, und so haben wir hier einen eindeutigen Aufruf von Funktion `(a)` vorliegen.

(2) Das erste Argument paßt exakt zu Funktion `(a)`, während bei `(b)` eine Standard-Konvertierung nötig wäre. Also ist die beste Menge hier offensichtlich `{a}`. Beim folgenden `"double"`-Argument ist es genau umgekehrt: Es paßt exakt zur Funktion `(b)`, so daß die Funktionsmenge `{b}` herauskommt. Das dritte Argument paßt wiederum bei beiden Funktionen gleich schlecht (Standard-Konvertierung), weshalb wir hier `{a, b}` notieren. Die Schnittemenge von `{a} * {b} * {a, b}` ist aber leer - es gibt also keine Funktion, die bei allen Argumenten zu den besten gehört.

(3) Beim ersten Argument haben wir es mit zwei Standard-Konvertierungen zu tun (Menge `{a, b}`), während die beiden folgenden Argumente jeweils mit einer aufsteigenden Typwandlung in `"double"` verwandelt werden können (zweimal Menge `{b}`). Also ist `(b)` hier klarer Sieger.

(4) Bei allen drei Argumenten ist jeweils für beide Funktionen eine Standard-Konvertierung anzuwenden, weshalb für alle drei Mengen `{a, b}` herauskommt. Der Durchschnitt über dreimal diese Menge ist eben `{a, b}`, und so haben wir hier gleich zwei Funktionen die überall zu den am besten passenden gehören. Also ist dieser Funktionsaufruf mehrdeutig und deshalb ein ERROR.

Solche Analysen sind natürlich ziemlich krankhaft, aber das ist bei weitem nicht so schlimm, wie es vielleicht scheinen mag: In der Praxis kann man schließlich immer durch explizite Typkonvertierungen eindeutig und leicht ersichtlich vorgeben, was man meint.

4.2 Operatoren

4.2.1 Allgemeine Operatoren

4.2.1.1 Allgemeines über allgemeine Operatoren

Das mit den überladenen Funktionen ist ja ganz erbaulich, aber vielleicht fragen Sie sich trotzdem (zu Recht), was das Ganze soll. Man könnte in der Tat ohne überladene Funktionen auskommen, wenn, wenn es in C nicht schon ohnehin überladene Funktionen gäbe: Fast jeder Operator symbolisiert im Prinzip eine ganze Menge von ein- oder zweistelligen Funktionen. Beispielsweise steht das binäre `"+"` für nicht weniger als sechs oder sieben verschiedene Operationen, nämlich Addition von jeweils zwei `"int"`-, `"unsigned"`-, `"long"`-, `"unsigned long"`-, `"double"`- oder `"long double"`-Werten sowie in einigen Implementationen auch noch die `"float"`-Addition (und in MaxonC++ obendrein auch noch Additionen auf `"long long"` sowie `"unsigned long long"`). Außer diesen numerischen Additonen gibt es natürlich auch noch die Addition eines Pointers mit einer ganzen Zahl. Der Compiler braucht also sowieso Regeln, um aus den Argumenten auf die gewünschte Funktion zu schließen, und so sind überladene Funktionen gewissermaßen nur ein Feature, das mit den ohnehin vorhandenen überladenen Operatoren eng verwandt ist und deshalb leicht in den Sprachstandard integriert werden konnte.

Der einzige Unterschied ist bis jetzt, daß Operatoren vom Compiler fest vorgegeben sind, während Funktionen vom Anwender definiert werden. Aber genau das ändert sich mit diesem Abschnitt: Ab sofort ist ein `"+"` nicht meht bloß eine Addition, wie sie der Standard definiert - jetzt werden wir kreativ.

So gut wie jeder ein- oder zweistellige Operator kann vom Programmierer noch weiter überladen werden, als er es ohnehin schon ist. Sie kennen schon ein sehr nützliches Beispiel dafür: Die Operatoren `"«"` und `"»"`, mit denen man gewöhnlich Bits durch die Gegend schiebt, werden im Standard-Include „stream.h" auf den Klassen `"istream"` bzw. `"ostream"` überladen und wuchten plötzlich nicht mehr bloß binäre Daten durch den Speicher, sonderm bewirken höchst komplexe Ein- und Ausgabe-Operationen.

Aber bevor Sie in unangemessene Ekstase geraten, sei Ihre Euphorie ein wenig gedämpft, denn es gibt einige nicht unbedeutende Einschränkungen:

- Man kann keine völlig neuen Operatoren definieren, sondern ausschließlich den vorhandenen Operatoren zusätzliche Bedeutungen verleihen. So mancher würde z. B. einen Operator namens `"***"` oder `"pot"` für Potenzierungen einführen, aber das geht in C++ nicht (sagen wir besser: nicht einmal in C++).

- Weder Vorrang noch Bindung von Operatoren können verändert werden. Sie können also `"+"` und `"*"` soviel überladen, wie Sie wollen, aber Punktrechnung geht weiter vor Strichrechnung und die Bindung erfolgt dabei von links nach rechts, basta.

- Die Operatoren bleiben ein- oder zweistellig (d. h. sie besitzen ein oder zwei Parameter). Bei anwender-definierten Überladungen muß mindestens einer dieser Parameter ein Klassentyp oder eine Referenz auf eine Klasse sein. Das ist aber halb so schlimm, denn so vermeidet man, daß die von Ihnen definierten Operatoren mit den Standard-Operatoren kollidieren; sonst könnte z. B. ein Witzbold auf die Idee kommen, `"/"` mit einen `"double"` als linkem und `"unsigned short"` als rechtem Parameter eine ganz andere Bedeutung zu geben (zur Erinnerung: normalerweise wird ein solcher Ausdruck als Division in `"double"` ausgewertet).

Es war die Rede davon, daß man fast alle Operatoren überladen kann. Hier ist eine Liste der überladbaren Operatoren:

```
+ - * / % ^ & |
~ ! = < > += -= *=
/= %= ^= &= |= << >> >>= <<= == != <= >= && ||   ++ -- , ->* ->
() [ ] new delete
```

Dabei steht `"()"` für Funktionsaufrufe und `"[]"` für Indizierungen. Die Operatoren `"+"`, `"-"`, `"*"` und `"&"` können gleichermaßen als einstellige wie als zweistellige Funktione überladen werden, und `"++"` sowie `"--"` können als Postfix- oder Präfix-Operator unterschiedliche Bedeutungen erhalten.

Die Operatoren `"."` und `".*"` können nicht überladen werden, da sie auf Klassenausdrücken (zumindest auf der linken Seite) bereits eine vordefinierte Bedeutung haben umd man hier Kollisionen und Inkonsistenzen vermeiden will. Das Symbol `"::"`, das zur Compilezeit Scopes auflöst, ist nur im entferntesten Sinne als Operator aufzufassen und kann folglich ebenfalls nicht überladen werden, ebenso wenig wie der bedingte Ausdruck `"?:"`, der als dreistelliger Operator (Bedingung, `"if"`- und `"else"`-Teil) ein wenig aus der Reihe fällt. Es versteht sich fast von selbst, daß das `"#"` und `"##"`, die ausschließlich vom Preprozessor benutzt werden, gleichfalls nicht überladen werden können. Sonst ist in C++ aber alles überladbar, was nicht niet- und nagelfest ist, und wahrscheinlich sind Sie schon höllisch neugierig, wie man z. B. einen Funktionsaufruf überlädt, aber zuerst befassen wir uns hier mit eher gewöhnlichen Operatoren:

4.2.1.2 Wie man so etwas deklariert

Ein selbstdefinierter Operator ist zunächst einmal eine Funktion, die einen Namen hat. Die Funktion zu einem Operator "x" heißt "operator x" und wird auch als solche deklariert, z. B.

```
class X
{ public:
    int i;
};

int operator + (X x, int j)
{ return x.i + j + 42;
}
```

Und schon gibt es eine neue Addition, und zwar mit einem "X" als linkem und einem "int" als rechtem Operanden. Diese Operation ist jetzt aber nicht kommutativ, d. h. bei einer Addition "int + X" würde der Compiler diese neue Operation nicht aufrufen. Deshalb empfiehlt es sich in solchen Fällen normalerweise, die umgekehrte Operation auch noch zu deklarieren und definieren:

```
int operator + (int j, X x)
{ return x.i + j + 42;
}
```

Bei Operatorfunktionen muß die Anzahl der Parameter mit der Argumentanzahl der jeweiligen Standard-Operatoren übereinstimmen. Beispielsweise kann "operator -" wahlweise ein oder zwei Parameter haben (unäres bzw. binäres Minus!), während "/" immer genau zwei Parameter haben muß. Natürlich sind dann Default-Argumente und die Ellipse "..." verboten.

Davon einmal abgesehen, sind Operatoren ganz gewöhnliche Funktionen, die bloß etwas seltsam heißen ("operator xxx" statt eines Bezeichners) und auf eine noch seltsamere Art und Weise aufgerufen werden (siehe auch im nächsten Abschnitt). Sie können "friend" einer Klasse sein - oder auch ein Member:

```
class B
{ double d;
  public:
    B &operator += (double);
};

B& B::operator += (double x)
{ d += x;
  return *this;
}
```

In solchen Fällen dient der "this"-Zeiger stets als linker Operand, so daß der zweistellige Operator "+=" hier nur noch einen weiteren Parameter haben darf (und muß). Entsprechend dürfen einstellige Operatoren, wenn sie als Member deklariert werden, gar keine weiteren Parameter besitzen.

Wenn ein Operator als Member-Funktion einer Klasse deklariert wird, muß beim Funktionsaufruf der linke Operand naturgemäß ein L-Wert sein, auf den dann "this" zeigt (notfalls führt der Com-

piler aber auch ein temporäres Objekt ein). Es ist ziemlich egal, ob ein Operator als Member-Funktion oder auf Dateiebene deklariert wird, zumal auch die Scope-Regeln hier keinen direkten Einfluß haben (globale Operator-Funktionen überdecken gleichnamige Member nicht - das wäre ja auch fatal, denn es gibt jeden Operator sowieso schon als global vordefinierten Standard-Operator, so daß Member-Operator-Funktionen dann stets im Scope der Klasse versteckt und von außen überdeckt wären). Im Prinzip ist so etwas ganz einfach Geschmackssache, einmal davon abgesehen, daß einige Operatoren (z. B. `"="`) ausschließlich als Member-Funktion deklariert werden dürfen. Solche Sonderregelungen werden in Abschnitt 4.2.2 beschrieben.

4.2.1.3 Und wie man es benutzt

Da ein Operator eine (fast) normale Funktion ist, kann man ihn auch so aufrufen:

```
#include <stream.h>

class A
{ public:
     A operator ! ();
};

operator & (A& a1, A& a2);

void main()
{ A a, b;
  a.operator!();
  operator & (a, b);

  // in <stream.h> wird "«" auf Objekten der Klasse "ostream",
  // zu denen auch "cout" gehört, überladen, also könen wir
  // folgendermaßen Daten ausgeben:
  cout.operator « ("Hello, World!\n");

  // Allerdings ist jener Operator eine Member-Funktion, so daß
  // Folgendes nicht erlaubt ist:
  operator « (cout, "So geht's auch.\n"); // ERROR!
}
```

Das ist aber natürlich nicht der Sinn der Sache. Wesentlicn eleganter geht das nämlich so:

```
class A
{ public:
     A operator ! ();
};

A operator & (A& a1, A& a2);

void main()
{ A a, b, c;

  b = !a;
  c = a & b; }
```

Wenn Sie einen Operator benutzen, wendet der Compiler zum Auflösen der Überladung dieselben Regeln an, wie man sie von gewöhnlichen Funktionen kennt (vgl. 4.1.2), so daß es auch hier zu nicht eindeutigen Funktionsaufrufen kommen kann. Selbstdefinierte Operatoren sind gleichrangig mit vordefinierten.

4.2.2 Spezielle Operatoren

4.2.2.1 Der Zuweisungs-Operator „="

Das Kopieren von Klassenobjekten ist ein Vorgang ganz besonderer Art, weshalb der Copy-Konstruktor auch eine gewisse Sonderstellung einnimmt (z. B. wird er als einziger Konstruktor vom System defaultmäßig definiert). Allerdings wird dieser Konstruktor naturgemäß nur zur Initialisierung von Objekten eingesetzt, während er auf gewöhnliche Wertzuweisungen zwischen Objekten keinen Einfluß hat. Diese Lücke schließt man mit der Möglichkeit, den Operator `"="` zu überladen.

Der Operator `"="` darf ausschließlich als Member-Funktion definiert werden, z. B. wie im folgenden Beispiel, das ansatzweise (und auch nicht sehr geschickt) eine kleine String-Bibliothek implementiert:

```
#include <string.h>

class String
{ char *s;
  public:
    String &operator = (const String&);
    String &operator = (char*);
};

String &String::operator =(char* init)
{ delete s; // alten String-Inhalt löschen
  s = init;
  return *this;
}

String &String::operator = (const String &str)
{ delete s;                // Alten String löschen
  s = new char[strlen(str.s)+1]; // Neuen allozieren
  strcpy(s, str.s);        // Stringinhalt kopieren
  return *this;            // Referenz zurückgeben
}

void main()
{ String s1, s2;

  s1 = "Test";  // Entspricht s1.operator =("Test");
  s2 = s1;      // Entspricht s1.operator =(s1);
}
```

Normalerweise ist es das Sinnvollste, als Ergebnis eines Zuweisungsoperators das soeben initialisierte Objekt (also `"*this"`) bzw. eine Referenz darauf zurückzugeben, um so die Semantik einer normalen Wertzuweisung zu imitieren. Verlangt wird das aber keineswegs.

Der Zuweisungsoperator mit einer Referenz auf ein Klassenelement als Argument nimmt eine Sonderstellung unter den überladbaren Operatoren ein: Als einziger besitzt er eine defaultmäßige Definition. Zu jeder Klasse K gibt es einen Operator (oder zumindest so etwas ähnliches)

```
K &K::operator = (const K &),
```

der Klassenobjekte Member für Member kopiert. Der Programmierer hat dann die Möglichkeit, diesen Operator selbst zu deklarieren und dann zu definieren (wobei er auch das `"const"` weglassen darf). Dies ist ein bedeutender Unterschied zu allen anderen Operatoren, denn mit `"+"`, `"*"` oder `"+="` kann man ja lediglich Operationen, die es normalerweise nicht gibt, auf Klassen definieren.

Diese besondere Rolle hat einige Konsequenzen: Der Operator `"="` mit einer Referenz auf seine eigene Klasse ist der einzige Operator, der wirklich vererbt und in abgeleiteten Klassen bei Bedarf auch automatisch deklariert wird. Dies geschieht völlig analog zur Behandlung von Copy-Konstruktoren (3.3.4.2):

```
class Base
{ public:
     Base();
     Base(const Base&);
     Base &operator = (const Base&);
};

class Derived : Base
{ public:
     Derived();
};

void main()
{ Derived d1, d2(d1);
  d1 = d2;
}
```

In der Klasse `"Derived"` definiert der Compiler automatisch einen Kopier-Konstruktor

```
Derived::Derived(const Derived &)
```

sowie einen Zuweisungsoperator

```
Derived &Derived::operator = (const Derived &)
```

die jeweils zuerst den Kopier-Konstruktor bzw. Zuweisungsoperator der Basisklasse aufrufen und anschließend den Rest der Klasse ganz normal kopieren.

Von Compiler generierte Zuweisungsoperatoren haben den Zugriffsmodus `"public"` - auch das ist genau wie bei den Konstruktoren.

Auch wenn `"x += y"` bei Standard-Datentypen mit `"x = x + (y)"` identisch ist, hat die Definition eines eigenen `"="`-Operators auf einer Klasse keineswegs zur Folge, daß auch `"+="` oder ähnliche Operatoren automatisch aufgerufen werden können. Wenn man solche Operatoren auf einer Klasse definiert haben möchte, muß man das schon selbst tun. Diese müssen übrigens nicht Member einer Klasse sein:

```
class C    {      // ...    };

C &operator = (C&, const C&);          // ERROR

C &operator +=(C&, const C&);          // OK
```

Warum aber muß `"="` stets als Member deklariert werden? Nun, auf diese Weise stellt der Compiler sicher, daß die Gestalt des Zuweisungsoperators (für den es ja auch eine Default-Bedeutung gibt) fest steht, sobald die Klassendefinition abgeschlossen ist. Folgender Code wäre einfach zu grausam:

```
class Err   {      // ...    };

Err e1, e2;

void Falsch()
{ e1 = e2;  // Standard-Zuweisung
}

Err &operator = (const Err&, Err&); // ERROR

void TotalFalsch()
{ e1 = e2;     // Selbstdefinierte Zuweisung
}
```

Da der Compiler bekanntlich nicht hellsehen kann, würde er die erste Zuweisung für ein Standard-`"="` (also memberweises Kopieren) halten, während die zweite offensichtlich ein Aufruf der anwenderdefinierten Funktion ist. Entweder müßte der Compiler also einen unangemessenen Aufwand treiben, um solche Fälle als Fehler abzufangen bzw. bereits gelesene Zuweisungen nachträglich noch einmal zu betrachten (das gefällt dem Compilerbauer gar nicht), oder die Zuweisungsoperation wäre inkonsistent (das ist nichts für Ästheten). Also ist der Zwang, `"="` als Member zu deklarieren, die sinnvollste Lösung. Dagegen stellt sich dieses Problem bei `"+="` oder `"*="` nicht, denn diese Operatoren haben bekanntlich keine vordefinierte Bedeutung auf Klassen.

4.2.2.2 „new" und „delete"
Selbstgeschnitzte Speicherverwaltung

Bei `"new"` und `"delete"` werden gewöhnlich fest vordefinierte Funktionen aus den Bibliotheken des Compilersystems aufgerufen. Oft ist diese Speicherverwaltung aber nicht effektiv genug: Möglicherweise möchte man Objekte einer bestimmten Klasse zunächst immer nur allozieren und dann am Programmende auf einen Schlag vollständig löschen. Wenn man so etwas sowohl auf Laufzeit als

auch auf Speicherbedarf optimieren möchte, stellt man schnell fest, daß man mit der vollständigen Heap-Verwaltung eigentlich mit Kanonen auf Spatzen schießt. Schließlich müssen das Laufzeitsystem und das Betriebssystem des Rechners gleichermaßen umfangreiche Listenstrukturen verwalten, um sich zu merken, welchen Speicher das Programm reserviert hat und wo noch etwas frei ist. Das kostet einen nicht unerheblichen Overhead an Speicherplatz und Laufzeit.

Eine beliebte Lösung für das oben angedeutete Problem ist, sich einmal einen gewissen Speicherblock (sagen wir: 10 KByte) mit den Standard-Funktionen zu allozieren und in diesem Speicherbereich dann alle dynamisch erzeugten Objekte nacheinander abzulegen, bis er voll ist - und dann richtet man eben noch einen solchen Block ein. Da zwischendurch kein **"delete"** benutzt wird, braucht man keine wirkliche Heap-Verwaltung und kann deshalb sehr schnell Datenobjekte allozieren und braucht auch praktisch keinen Speicher-Overhead. Der MaxonC++ Compiler verwaltet fast alle bei einem Übersetzungsvorgang anfallenden Daten auf diese Weise, was dann auch nicht unerheblich zu der beeindruckenden Übersetzungsgeschwindigkeit beiträgt.

Auch sonst lassen sich sicher noch andere Gelegenheiten denken, bei denen die allgemeine Standard-Speicherverwaltung den aktuellen Erfordernissen nicht genügt. Lange Rede, schwacher Sinn: C++ unterstützt anwenderdefinierte Speicherverwaltungen durch Überladen der Operatoren **"new"** und **"delete"**.

Die Operatoren **"new"** und **"delete"** können als Member von Klassen deklariert werden, wodurch dann Objekte dieser Klasse (und aller abgeleiteten Klassen) mit diesen Operatoren alloziert und freigegeben werden. Dabei gibt es aber das kleine Problem, daß ein Programm bei einem **"new"**-Aufruf erst Speicher allozieren muß und erst dann den Konstruktor aufrufen kann, und umgekehrt den Speicher erst freigeben kann, nachdem der Destruktor ausgeführt wurde. Also operieren Speicherverwaltungsfunktionen nicht auf einem Objekt und sind deshalb grundsätzlich statische Member (d. h. ohne **"this"**-Zeiger), auch wenn man das nicht explizit so deklariert. Wie alle statischen Funktionen können **"new"** und **"delete"** folglich auch nicht virtuell sein.

Überladen von „new"

Im Include-File „*<stddef.h>*" steht ein **"typedef"**, das einen numerischen Datentypen unter dem Namen **"size_t"** definiert. Bei MaxonC++ handelt es sich dabei um den Typen **"unsigned int"**. Ein **"new"**-Operator muß natürlich wissen, wieviel Speicher er reservieren soll, und so muß der erste Parameter immer jenen Typen **"size_t"** haben:

```
#include <stddef.h>

class Beispiel
{ public:
     void *operator new(size_t Groesse);
     void *operator new(size_t Groesse, int Nochwas);
};
```

Der Ergebnistyp eines **"new"**-Operators muß stets **"void*"** sein, und das hat auch seine Richtigkeit, denn auch wenn der Operator benutzt wird, um Speicher für ein Objekt der Klasse **"Beispiel"** zu reservieren, und einen Zeiger auf den allozierten Speicher (bzw. 0 bei Fehler) zurück-

geben muß, zeigt das Ergebnis einfach nur auf einen Speicherbereich - ein „Beispiel"-Objekt wird daraus erst, wenn der entsprechende Konstruktor aufgerufen wird.

Bei einem Ausdruck wie

```
Beispiel *bp = new Beispiel;
```

ruft der Compiler zuerst die Funktion

```
Beispiel::operator new(sizeof(Beispiel))
```

auf und hofft, daß diese einen von 0 verschiedenen Zeiger zurückgibt. Das Ergebnis weist er dann an `"bp"` zu und ruft gegebenenfalls einen Konstruktor auf dem entsprechenden Speicherbereich auf. Ein selbstdefiniertes `"new"` und `"delete"` braucht sich also nur um die Speicherverwaltung zu kümmern, während die Sache mit den Konstruktoren und Destruktoren weiter Sache des Compilers bleibt.

Bestimmt sind Sie jetzt begierig, zu erfahren, was es oben mit dem zweiten `"new"`-Operator (der mit dem zusätzlichen Parameter) auf sich hat. Man darf unmittelbar hinter einem `"new"` eine Argumentliste angeben, die dann direkt als zusätzlicher Parameter (der erste Parameter ist nach wie vor die Elementgröße) an eine passende `"new"`-Funktion übergeben werden, z. B. so:

```
#include <stream.h>
#include <stddef.h>
#include <stdlib.h>

class C
{ int i, j, k;
  public:
     void *operator new(size_t, char*);
     void *operator new(size_t, int, int);
     C();
};

void *C::operator new(size_t Size, char *Message)
{ cout « Message « "\n";
  return ::new char[Size];  // So greift man gezielt
                                    // auf das globale "new" zu
}

void *C::operator new(size_t Size, int x, int y)
{ cout « "Mit den Argumenten "« x« " und "« y « " werden "
  « Size « " Bytes alloziert.\n";
  return ::operator new (Size);  // So geht's auch
}

C::C()
{ cout « "Objekt " « this « " wird initialisiert.\n";
  i = j = k = 0;
}
```

```
void main()
{ C *cp1 = new("And now to something completely different")
  C,   *cp2 = new(17,4)C;
}
```

Die beiden "new"-Anweisungen im Hauptprogramm übergeben zusätzliche Parameter an den "new"-Operator, so daß die entsprechenden Funktionen aus der Klasse "C" aufgerufen werden. Diese geben hier lediglich ein paar Meldungen aus und reservieren dann Speicher mit dem standardmäßigen "new"-Operator. Normalerweise dienen zusätzliche Argumente bei "new" dazu, dem Operator näher zu sagen, wie und wo er Speicher allozieren soll.

Ganz schlaue Programmierer werden sich jetzt fragen, warum ein "new" als ersten Parameter immer die Objektgröße haben muß, obwohl man diese Größe doch auch mit "sizeof(Klasse)" berechnen kann. Dafür gibt es gleich zwei gute Gründe:

(1) Die Operatoren "new" und "delete" werden vererbt:

```
#include <stddef.h>

class Basis
{ // ...
  public:
    void *operator new(size_t);
};

class Klasse : public Basis
{ // ...irgendwas
};

Klasse *kp = new Klasse;  // Benutzt "Basis::operator new"
```

Im allgemeinen ist eine abgeleitete Klasse größer als ihre Basisklasse, und deshalb benötigt ein "new"-Operator wirklich eine präzise Angabe über die Größe des zu reservierenden Speichers.

ABER: Wenn eine Klasse "C" einen eigenen "new"-Operator besitzt, wird dieser nicht benutzt, um einen Vektor von "C" einzurichten (z. B. "new C[50]"). Das klingt ziemlich komisch, aber es gehört zu den Prinzipien von C++, daß eine abgeleitete Klasse alle Eignschaften ihrer Basisklassen erbt und folglich auch deren Speicherverwaltung, oder anders ausgedrückt: Da im obigen Beispiel eine „Klasse" immer gleichzeitig ein „Basis" ist, macht es auch Sinn, das "new" von „Basis" auch für „Klasse" zu verwenden - vielleicht funktioniert die Basisklasse ja nicht richtig, wenn sie nicht mit ihrem eigenen "new" alloziert wurde. Auf dem Amiga kann man sich z. B. Klassen vorstellen, die irgendwelche Grafik- oder Sounddaten repräsentieren und deshalb in Chip-Memory liegen müssen, also zwangsläufig ein eigenes, selbstgeschriebenes "new" benötigen. Folglich müssen dann auch alle abgeleiteten Klassen im Chip-Ram liegen.

Andererseits ist ein "C[50]" ein Vektor, aber kein "C", und erbt damit im allgemeinen auch nicht die Eigenschaften von "C".

(2) Auch das globale `"new"`, das für alle möglichen Objekte, die kein eigenes `"new"` haben, benutzt wird, kann überladen werden, z. B. so:

```
#include <stddef.h>
#include <stream.h>

void *operator new(size_t S, void *Wo)
{ return Wo;
}

void main()
{ int i = 26731;

  int *ip = new(&i)int(42);

  cout « i; // Ausgabe: 42
}
```

Dieses trickreiche Programm definiert ein neues globales `"new"`, dem man sagen kann, wo es Speicher „reservieren" kann - oder sagen wir besser: an welcher bereits reservierten Adresse das neue Objekt liegen soll. Im Beispiel wird ein `"int"`-Objekt eingerichtet, indem die Adresse eines bereits (auf dem Stack) existierenden Objekts übergeben wird. Anschließend zeigt `"ip"` dann auf `"i"`, und `"i"` wird während dieses `"new"` erneut initialisiert.

Der „delete"-Operator

Kein `"new"` ohne `"delete"`, und so wird es Sie wohl nicht wundern, daß man auch den `"delete"`-Operator überladen kann.

Eine `"delete"`-Funktion kann nur innerhalb einer Klasse deklariert werden, und zwar höchstens ein `"delete"` pro Klasse (d. h. diese Funktion kann nicht überladen werden). Der erste Parameter muß ein `"void*"` sein und zeigt auf das zu löschende Element, ein optionaler zweiter Parameter vom Typ `"size_t"` enthält die Objektgröße. Der Ergebnistyp darf ausschließlich `"void"` sein, und genau wie `"new"` ist `"delete"` immer ein statischer Member und folglich auch niemals virtuell.

Zwei Beispiele:

```
#include <stddef.h>

class C
{ // ...
  public:
    void operator delete(void*);
};

class D
{ // ...
  public:
    void operator delete(void*, size_t);
};
```

Auch **"delete"** wird vererbt, d. h. wenn eine Basisklasse ein überladenes **"delete"** besitzt, wird dieses auch für die abgeleitete Klasse benutzt. Dabei gibt es aber (scheinbar) ein Problem, das am folgenden Beispiel hoffentlich deutlich wird:

```
#include <stddef.h>
#include <stream.h>

class Basis
{ int i;
  public:// "delete"-Operator:
    void operator delete(void*, size_t);

              // virtueller Destruktor:
    virtual ~Basis();  // Wichtig - siehe unten
};

void Basis::operator delete(void *Obj, size_t Size)
{ cout «    "Das Objekt " « Obj « " der Größe " « Size «
              " wird gelöscht.\n";
  ::delete Obj   // Globales "delete" benutzen
}

Basis::~Basis()
{ cout « "Basis-Objekt " « this « " wird destruiert.\n";
}

class Dummy // Dient nur dazu, der anderen
{ int dumm;
};            // Basisklasse einen Offset zu verpassen.

class Klasse : private Dummy, public Basis
{ int i, j, k;
  public:
    ~Klasse();
};

Klasse::~Klasse()
{ cout « "Klassen-Objekt " « this « " wird destruiert.\n";
}

void main()
{ Klasse *kp = new Klasse;
  Basis  *bp = kp;

  cout « "Adresse des Objekts:   " « kp « "\n";
  cout « "Objektgröße: " « sizeof(Klasse) « "\n";
  cout « "Adresse der Basisklasse: " « bp « "\n";
  cout « "Basisklassengröße:    " « sizeof(Basis) « "\n\n";

  // Jetzt wird's spannend:
  delete bp;
}
```

Wir haben hier also eine Klasse **"Klasse"** mit zwei Basisklassen. Aus der zweiten, „Basis", erbt **"Klasse"** einen **"delete"**-Operator. Naturgemäß ist die Basisklasse kleiner als die abgeleitete Klasse und hat auch, da sie in der Basisklassenliste an zweiter Stelle steht, einen Offset der Größe **"sizeof(Dummy)"**.

Das Programm erzeugt also mit dem normalen **"new"** ein Element der Klasse **"Klasse"** und weist den Zeiger an eine geeignete Variable zu. Außerdem wird ein Zeiber **"bp"** auf die Basisklasse gesetzt. Wie Sie sicher wissen, managet der C++-Compiler diese Typkonvertierung korrekt und addiert dabei den richtigen Offset, so daß die numerischen Werte von **"kp"** und **"bp"** nicht übereinstimmen.

Nun sagt das Programm, was es getan hat, und gibt Adresse und Größe sowohl des gesamten Objekts als auch der darin enthaltenen Basisklasse aus. Schließlich löscht es das Objekt - aber über den Basiszeiger **"bp"** und das selbstdefinierte **"delete"**!

Da der Destruktor von **"Basis"** als virtuell definiert ist, werden vor dem eigentlichen **"delete"**-Aufruf auch völlig korrekt erst die abgeleitete Klasse und dann die zweite Basisklasse destruiert (die erste „Dummy"-Basisklasse hat ja keinen Destruktor). So, und jetzt kommt's: **"Basis::operator delete"** wird aufgerufen, und das ist der Punkt, auf den ich hinaus will und weshalb ich dieses ganze Beispiel überhaupt vorexerziere:

In C++ gibt es keinen **"self"**-Pointer, d. h. wenn man einen Zeiger auf ein Objekt hat (das möglicherweise in Wirklichkeit nur ein Basisobjekt eines größeren Objekts ist), gibt es keine Möglichkeit, festzustellen, von welchem Typ das referierte Objekt wirklich ist und an welcher Speicheradresse es wirklich beginnt. Der Compiler hat bei **"delete bp"** also nur einen Zeiger auf die Basisklasse und müßte dem **"delete"**-Operator nun eigentlich diesen Zeiger auf die Basisklasse sowie deren Größe übergeben, und das wäre hier offensichtlich falsch.

Aber wie so oft in scheinbar ausweglosen Situationen bietet C++ eine elegante Lösung auch für dieses Problem: Wenn die Klasse **"Basis"** einen virtuellen Destruktor besitzt (so wie es oben der Fall ist), wird dort in der Tabelle der virtuellen Funktionen nicht nur ein Verweis auf den richtigen Destruktor, sondern auch eine Information über die wahre Objektgröße und den Offset der jeweiligen Basisklasse abgelegt. Im Beispiel stehen dort also der Offset (**"-sizeof(Dummy)"**), der von **"bp"** zu subtrahieren ist, und die tatsächliche Objektgröße (**"sizeof(Klasse)"**). Also gibt das Programm folgendes aus (wobei die Adressen natürlich andere Werte haben werden, wenn Sie das auf Ihrem Rechner ausprobieren):

```
Adresse des Objekts: 0x2b8d20
Objektgröße:  24
Adresse der Basisklasse:  0x2b8d24
Basisklassengröße: 8

Klassen-Objekt 0x2b8d20 wird destruiert.
Basis-Objekt  0x2b8d24 wird destruiert.
Das Objekt  0x2b8d20 der Größe 24 wird gelöscht.
```

Zum Vergleich: Ohne das kleine Wörtchen **"virtual"** wird folgendes ausgegeben:

```
Adresse des Objekts: 0x32a878
Objektgröße:  20
Adresse der Basisklasse:  0x32a87c
Basisklassengröße: 4

Basis-Objekt  0x32a87c wird destruiert.
Das Objekt  0x32a87c der Größe 4 wird gelöscht.
```

Das Gesamt-Objekt ist hier nur 20 statt 24 Bytes groß, weil der Zeiger auf die Virtual-Tabelle nun entfällt. Diese Speicherersparnis bezahlen wir aber damit, daß der Compiler beim `"delete bp"` nicht mehr weiß, was eigentlich los ist: Hier wird nur noch der Destruktor für `"Basis"` aufgerufen, und der `"delete"`-Operator erhält als Argumente lediglich einen Zeiger auf ein „Basis"-Objekt sowie dessen Größe. Unter Umständen kann die selbstdefinierte Speicherverwaltung damit ganz schön Probleme kriegen, denn ein solches Objekt wurde ja nie zuvor wirklich eingerichtet. Die Heap-Verwaltung von MaxonC++ ist aber robust genug um zu wissen, daß dieses Objekt Basis eines anderen ist.

4.2.2.3 Funktionsaufruf als Operator

Für Leute, die Pascal oder andere „harmlose" Programmiersprachen gewohnt sind, ist es ein gewöhnungsbedürftiger Gedanke, daß der Funktionsaufruf in C++ formal ein Operator ist, dessen linker Operand entweder ein (eventuell überladener) Funktionsname oder ein Ausdruck, der eine Funktion (in einigen Implementationen alternativ auch einen Zeiger darauf, siehe 2.3.2) darstellt, ist, während die Argumentliste als rechter Operand gilt.

Operanden sind, das haben Sie sicher schon gemerkt, zum Überladen da, und folglich kann auch der Funktionaufrufs-Operator, der durch `"()"` dargestellt wird, auf Klassen (also ausschließlich als Member-Funktion) überladen werden, z. B. so:

```
class Funny
{ int i;
  public:
    void operator()();
    int operator()(int, int);
};

#include <stream.h>

void Funny::operator()()
{ cout « "Hello, World!\n" « "i = " « i « "\n";
}

int Funny::operator()(int j, int k)
{ i = j+k;
  return i;
}

void main()
{ Funny f;
  int r = f(17,4);
```

```
   f();
}
```

Zunächst einmal sollten Sie sich nicht von den diversen Klammern, die sich hier anhäufen, irritieren lassen: erstens ist LISP viel schlimmer und zweitens ist `"()"` die Darstellung des Operators, `"operator()"` folglich ein Funktionsname und das Klammerpaar, das jeweils folgt, die Parameterliste - also genau wie bei jedem anderen Operator auch. Ebenso leicht ist die Funktion dieser Überladung zu erkennen: Wird ein Klassenobjekt mit einer Argumentliste wie eine Funktion aufgerufen, so ruft der Compiler die entsprechende Operatorfunktion wie eine ganz normale Memberfunktion auf.

Das folgende Programm ist deshalb zum obigen äquivalent, kommt aber ohne Überladen von `"()"` aus:

```
class LessFunny
{ int i;
  public:
    void operator_fun();
    int operator_fun(int, int);
};

#include <stream.h>

void LessFunny::operator_fun()
{ cout « "Hello, World!\n" « "i = " « i « "\n";
}

int LessFunny::operator_fun(int j, int k)
{ i = j+k;
  return i;
}

void main()
{ LessFunny f;
  int r = f.operator_fun(17,4);
  f.operator_fun();
}
```

Wie Sie sehen, dient das Überladen von `"()"` eigentlich nur dazu, daß man eine Memberfunktion aufrufen kann, ohne ihren Namen nennen zu müssen. Das impliziert auch schon die wichtigste Anwendung dieses Features: Den Operator `"()"` überlädt man auf Klassen, die in irgendeiner Weise Funktionen repräsentieren. Die Möglichkeit, `"()"` zu überladen, ist also alles andere als das zentrale Element der objekt-orientierten Programmierung, aber hin und wieder ist es ganz praktisch, weil es elegantere Programme ermöglicht.

4.2.2.4 Klassen als Möchtegern-Vektoren

Ähnlich wie der Funktiosnaufruf, ist auch der Indexoperator `"[]"` überladbar. `"operator[]"` muß dabei eine nicht-statische Memberfunktion sein.

Bekanntlich betrachtet C (und damit auch C++) die Vektor-Indizierung als binären Operator, und das ist bei überladener Klassen-Indizierung nicht anders. Dieses Rumgesülze soll ganz einfach zum Ausdruck bringen, daß man auch mit Überladen von "[]" keine echten mehrdimensionale Vektoren realisieren kann, weil der zweiter Operand auch hier nur ein einfacher Ausdruck sein darf:

```
class Vektor
{ int *daten;
  unsigned anzahl;
  public:
    int &operator[ ](unsigned); // Folgende Zeile geht NICHT:
    int &operator[ ](int, int); // Keine mehrdimensionalen
                                                  // Vektoren!
};

#include <stream.h>

int &Vektor::operator[ ](unsigned index)
{ if (index < anzahl)
    return daten[index];
  else
  { cout « "Murx!\n";
    exit(26731);
  }
}

void main()
{ Vektor v1;
  int i;

  // ...

  v1[2] = v1[i];
}
```

Rein formal entspricht der Ausdruck "a[b]" dem Funktionsaufruf "a.operator[](b)". Wegen dieser Semantik wird weder verlangt, daß der zweite Operand, also der „Index", irgendwie von einem numerischen Typ sein muß, noch will der Compiler als Ergebnistyp dieser Operation unbedingt eine Referenz (d. h. einen L-Wert) haben. Diese Typen treffen die gewohnte Semantik des Vektor-Zugriffs aber am besten, und so wird man beim Überladen von "[]" wohl stets über einen diskreten Datentypen indizieren und eine Referenz auf ein Objekt zurückgeben.

Den Operator "[ ]" wird man naheliegenderweise nur dann überladen, wenn eine Klasse irgendwie so etwas wie einen Vektor repräsentiert. Typische Beispiele sind Strings oder dynamische Vektoren, die sich automatisch dem benötigten Indexbereich anpassen. Man könnte "[]" aber z. B. auch auf der Telefonlisten-Struktur aus unserem kanonischen Beispielprogramm überladen, und zwar möglicherweise gleich mehrfach:

```
{ class Telefonbucheintrag
  public:char Name[40], Nummer[20];
};
```

```
class Telefonbuch  // Irgendwelche Basisklassen...
{ // usw.
  public:
    Telefonbucheintrag &operator[ ] (int nr);
    Telefonbucheintrag &operator[ ] (const char *name);
};

Telefonbuch T1, T2;

#include <stream.h>

void CrunchyFrog()
{ cout « T1[42].Name « T2["Monty Python"].Nummer;
}
```

In diesem Fall könnte die konventionelle Indizierung mit `"int nr"` eine Referenz auf das `"nr"`-te Listenelement liefern, während man bei der Indizierung mit einem String den Telefonbucheintrag mit diesem Namen heraussuchen könnte, was dann einem assoziativen Array entspräche.

Zeiger und Vektoren sind in C eng miteinander verwandt, und deshalb schließt sich das folgende Feature geradezu wunderbar an:

4.2.2.5 Intelligente Zeiger: "->" und das unäre "*"

Beim unären `"*"`-Operator ist zum Thema Überladung eigentlich nicht viel zu sagen, denn das geht genau wie bei `"+"` oder `"!"`:

```
// entweder als Member...
class C1
{ C1 operator * ();
};

// oder einfach so:
class C2 {  };

int operator *(C2);
```

Witziger ist da schon `"->"`, denn das ist eigentlich kein echter Operator: Normalerweise ist der linke Operand ein Zeiger und der rechte der Name eines Members, also alles andere als ein Audruck. Deshalb weicht die Semantik bei der Überladung von `"->"` etwas von den „normalen" Operatoren ab.

`"->"` kann nur als nicht-statische Memberfunktion deklariert werden und hat originellerweise auch keine weiteren Parameter, weshalb weiteres Überladen innerhalb einer Klasse hier flach fällt. Ein Ausdruck wie `"x->y"` wird, wenn `"x"` ein Klassenausdruck ist, als

```
(x.operator->())->y
```

ausgewertet. Folglich sollte der Ergebnistyp dieses Operators tunlichst etwas sein, worauf der Compiler dann `"->y"` auch anwenden kann, also normalerweise ein Zeiger auf eine Klasse, in der `"y"`

Member ist (alternativ könnte das Ergebnis natürlich auch eine weitere Klasse sein, auf der "->" überladen ist... - aber so schlimm muß man es ja nicht unbedingt treiben). Ein simples Beispiel:

```
struct Objekt   { int a, b, c; };

class Zeiger
{ int foo, bar;
  public:
    Objekt *operator ->();
    Objekt &operator *();
};

Objekt Foobar;

Objekt *Zeiger::operator->()
{ return &Foobar;
}

Objekt &Zeiger::operator*()
{ return Foobar;
}

void main()
{ Zeiger z1, z2;

  // Alle folgenden Operationen manipulieren das Objekt "Foobar":
  z1->a = 42;
  z2->b = 76;
  (*z2).c = 26731;
}
```

Zugegebenermaßen ist es nicht unbedingt sinnvoll, wenn "*" und "->" immer Verweise auf ein einziges Objekt liefern. Typische Anwendungen für solche Überladungen sind „intelligente Zeiger": Beispielsweise könnte man die gerade nicht benötigten Teile einer großen Datenstruktur auf Festplatte oder Diskette auslagern und Objekte möglichst nur dann ins RAM laden, wenn sie benutzt werden. Die Operatoren "*" und "->" müßten dann feststellen, ob das referierte Objekt sich gerade im Speicher befindet, und es andernfalls vom Massenspeicher laden.

4.2.2.6 Inkrement und Dekrement

Die Operatoren "++" und „--" sind außerordentlich bemerkenswert, weil sie als einzige unäre Operatoren gleichermaßen als Postfix- und als Präfixoperatoren benutzt werden können. In ihrer Standardbedeutung haben sie dabei sogar unterschiedliche Funktionen, denn "++c" und "c++" liefern bekanntlich unterschiedliche Ergebnisse. Das Problem ist nun, was der Compiler machen soll, wenn "++" oder "--" vom Anwender überladen werden.

Im ersten C++-Standard konnte man nur jeweils einen Operatoren definieren, der dann sowohl bei Postfix- als auch bei Präfixausdrücken aufgerufen wurde. Es gab für die Operatorfunktion keine Möglichkeit festzustellen, auf welche der beiden Arten sie benutzt wurde. Es stellte sich aber bald heraus, daß diese Konvention nicht zu befriedigen vermochte, denn schließlich dient der ganze

Schmonz mit den überladenen Operatoren hauptsächlich dazu, die gewohnten Funktionsweisen von Operatoren auf selbstdefinierten Datentypen zu imitieren. Also griff man bei C++ 2.0 zu einer anderen Lösung.

Werden die Operatoren `"++"` und `"--"` unär überladen, so bezieht sich das auf die Präfix-Schreibweise `"++x"`. Man kann diese Operatoren aber auch mit einem zweiten „Phantom-Operanden" des Typs `"int"` versehen, und das entspricht dann einem Postfix-Ausdruck:

```
class N
{ int n;
  public:
    N operator ++();
    N operator ++(int);
};

N n1;

void main()
{ ++n1;      // Entspricht n1.operator++()

  n1++;      // Entspricht n1.operator++(0)
}
```

Dem Phantom-Parameter wird also pauschal das Argument `"0"` übergeben, denn er dient ja ausschließlich dem Zweck, daß die beiden Funktionen sich unterscheiden sollen.

Bei global definierten Funktionen geht das völlig analog:

```
class M
{ public:int m;
};

M operator ++(M);
M operator ++(M, int);

M m1;

void main()
{ ++m1;      // entspricht operator++(m1);

  m1++;      // entspricht operator++(m1,0);
}
```

Es gibt eine furchtbar schlaue Begründung dafür, weshalb man das gerade so und nicht genau andersrum definiert hat, aber die ist mir gerade entfallen, und ich möchte Ihnen auch nicht zumuten, sich das zu merken. Im Zweifelsfall wissen Sie ja, wo Sie es nachschlagen können.

Ach ja, auch wenn hier nur Beispiele mit `"++"` stehen, funktioniert das Überladen von `"--"` natürlich ganz genauso.

4.2.2.7 Ein- und Ausgabe

So manche Daten, die irgendwie so anfallen, möchte man gern auch ausgeben. Am schönsten wäre es natürlich, wenn das ganz normal ginge, so mit `"cout"` und so...

Aber hallo, das geht, und wie! `"cout"` ist nichts anderes als ein bestimmtes Objekt der Klasse `"ostream"`, und der Operator `"«"`, der sonst eigentlich Bits durch die Gegend schiebt, ist mit dieser Klasse als linken Operanden mehrfach überladen. Klar, daß der mündige Programmierer das auch selbst kann.

Also, nehmen wir einmal an, Sie haben eine Klasse namens `"Complex"`, die rein zufällig auch komplexe Zahlen repräsentiert. Nun wäre es natürlich ganz nett, wenn man diese Daten ganz einfach nach `"cout"` schicken könnte. Das ist nach all dem, was Sie bisher wissen, wirklich kein Thema mehr:

```
// Erster Versuch!

#include <stream.h>   // da wird "ostream" definiert

class Complex
{ public:
    double re, im;
};

void operator « (ostream os, const Complex c)
{ os « c.re « "+" « c.im «"i";
}
```

Das Problem dabei: Wenn `"«"` ein `"void"` zurückgibt, wie kann man denn dann mehrere Ausdrücke hintereinander ausgeben, so wie bei `"cout « a « b"`? Also muß eine derartige Funktion auf jeden Fall ein Objekt der Klasse `"ostream"` zurückgeben. Da man aber nie so genau wissen kann, wie ein Objekt reagiert, wenn es kopiert wird, arbeitet man hier besser mit Referenzen, und zwar sowohl beim Funktionsergebnis als auch beim `"ostream"`-Parameter:

```
// So ist's besser:
#include <stream.h>

class Komplex
{ public:
    double re, im;
};

ostream &operator « (ostream &os, const Komplex &c)
{ os « c.re « "+" « c.im «"i";
  return os;
}

void main()
{ Komplex k;
  k.re = 1.0;
  k.im = 2.0;
```

```
   cout « k;
}
```

Da wir gerade so schön mit Referenzen hantieren, deklarieren wir im obigen Beispiel auch den „Komplex"-Parameter als Referenz, immerhin spart eine Referenz im Vergleich zu einem Class-Parameter normalerweise so einiges an Rechenzeit.

Wenn Sie wissen, daß `"cin"` ein Objekt der Klasse `"istream"` ist, dürfte Ihnen jetzt auch klar sein, wie man die Eingabe eines Objekts bewerkstelligt:

```
#include <stream.h>

class X
{ public:
     char x[50];
};

istream &operator » (istream &im, X &y)
{ im » y.x;
  return im;
}

void main()
{ X x1, x2;
  cin » x1 » x2;
}
```

Sie dürfen nur die `"return"`-Anweisung in solchen Operatorfunktionen niemals vergessen, denn sonst gibt es echt eklige und schwer zu findende Abstürze, aber holla!

4.2.3 Beispielprogramm: Die „string"-Bibliothek

Es dürfte allgemein bekannt sein, daß BASIC die leistungsfähigste und komfortabelste Programmiersprache ist.

Lacht da etwa jemand?

Na gut, leicht übertrieben ist das schon, aber eines muß man BASIC lassen: es gibt keine andere gebräuchliche Programmiersprache, die ein so müheloses und intuitives Stringkonzept besitzt. Man sagt ganz einfach `"A$"`, und der Interpreter weiß Bescheid und erledigt den Rest. Da kann höchstens noch Rexx mithalten, aber Rexx ist weder „gebräuchlich" noch eine „Programmiersprache".

In jeder „echten" Programmiersprache muß man zumindest bei der Deklaration einer Stringvariablen angeben, wie lang das Ding einmal werden soll, und das Stringhandling von C ist bekanntermaßen völlig greuslich, da faktisch eigentlich gar nicht von einem Stringhandling die Rede sein kann. Also sollte man doch besser auf BASIC umsteigen, oder wie?

Keine Angst, Sie haben das Geld, daß Sie für MaxonC++ hingeblättert haben, nicht umsonst verschleudert. Denn erstens hat MaxonC++ eine String-Bibliothek, die fast so komfortabel wie BASIC ist, und zweitens werde ich eine Mini-Version dieser Bibliothek hier im Quelltext vorstellen, denn daran lassen sich viele Konzepte, wie Copy-Konstruktoren, Überladen von Operatoren, Konvertierungsfunktionen oder temporäre Objekte anschaulich darstellen. Dieses Beispielprogramm soll der krönende Abschluß des Kapitels 4 werden.

Das mit dem **"$"**-Zeichen hinter dem Variablennamen können wir leider (?) nicht von BASIC abkupfern, denn man wird eine Stringvariable deklarieren müssen wie jede andere auch. Dafür dürfen Variablennamen auch mehr als zwei Zeichen lang sein (wie war das doch gleich im C64-BASIC?) und werden ganz einfach mit dem Datentyp **"String"** ohne jede Längenangabe deklariert. Außerdem werden unsere Strings lauter Dinge können, die mit den normalen C-Strings - oder sagen wir besser „Zeichenvektoren" - nicht so einfach gehen, nämlich Zuweisungen ohne **"strcpy"**, Vergleiche ohne **"strcmp"** und Aneinanderhängen ohne **"strcat"**.

Also, machen wir uns ans Werk. Sie können sich sicher schon denken, daß wir hier eine Klasse namens **"String"** deklarieren werden. Die enthält dann lediglich Informationen über den String, während die eigentliche Zeichenkette in einem dynamisch mit **"new"** reservierten Speicherbereich liegen wird. Auf diese Zeichenkette, die wie immer mit einem Nullbyte abgeschlossen wird, zeigt der private Member **"str"**. Wir vereinbaren dabei, daß der Wert 0 hier eine gültige Repräsentation für den leeren String darstellen soll. Weil es uns fast nichts kostet und an einigen Stellen nutzen wird, speichern wir auch die Stringlänge ab, und zwar im Member **"len"**. Da diese Daten zu den Eigenheiten der Implementierung gehören, ist es sinnvoll, sie als **"private"** zu deklarieren.

Also geht die Definition unserer Klasse so los:

```
class String
{  char *str;
   int len;
```

Natürlich wird unsere Klasse diverse Konstruktoren haben. Diese und einige anderen Funktionen werden aber etwas gemeinsam haben: Zu einer gegebenen Zeichenkette (ein **"char*"**, nicht etwa ein **"String"**) muß ein Speicherbereich geeigneter Größe mit **"new"** eingerichten, der String dorthin kopiert, ein Zeiger darauf in **"str"** eingetragen und die richtige Stringlänge in **"len"** vermerkt werden. Also deklarieren wir dafür eine (ebenfalls private) Memberfunktion:

```
void alloc (const char*);
```

mit folgender Definition:

```
void String::alloc (const char *initstr)
{  if (initstr)
   {  // Stringlänge feststellen, Speicher einrichten:
      len = strlen(initstr);
      str = new char[len+1];
      if (str)  // Neuen String initialisieren:
        strcpy(str, initstr);
      else         // "new" schlug fehl, also "aussteigen":
```

```
        exit(42);
    }
    else            // Initialisierung mit Leerstring:
    { len = 0;
      str = 0;
    }
}
```

Das Gegenstück ist die ebenfalls mehrfach benötigte Memberfunktion

```
void free();
```

die den für die Zeichenfolge reservierten Speicher freigibt und aus Gründen der Konsistenz den `"str"`-Zeiger wieder auf Null setzt:

```
void String::free()
{ if (str)
  { delete [ ] str;
    str = 0;
  }
}
```

Zur Erinnerung: Das `"[ ]"` hinter dem `"delete"` ist nötig, weil der Vektor mit variabler Größe eingerichtet wurde.

Zwei Objekte dürfen sich niemals dieselbe physikalische Zeichenkette, also einen allozierten Speicherbereich „teilen", indem die `"str"`-Zeiger beider Objekte auf dieselbe Adresse zeigen, denn dann kommt es fast zwangsläufig zu Kollisionen. Deshalb werden wir zur Initialisierung von Strings meist die Funktion `"alloc"` benutzen, die ja eine eigene Kopie ihres Arguments anlegt. Es gibt aber auch die Situation, daß eine Funktion bereits einen Zeichenvektor dynamisch alloziert und initialisiert hat und genau diese Zeichenkette als `"str"` in ein Stringobjekt eingetragen werden soll, ohne daß sie noch einmal kopiert werden sollte. Für diesen Zweck führen wir einen Konstruktor ein, der nichts anderes tut, als einen Stringzeiger und eine Länge einzutragen:

```
String (int, char*);
```

Da auch dies eine Low-Level-Operation ist, ist auch dieser Konstruktor privat. Seine Definition ist trivial und sieht folgendermaßen aus:

```
String::String (int len, char *str) : len(len), str(str) { }
```

Da gibt es also wirklich nichts mehr zu erklären - die Datenmember des Objekts werden mit bestimmten Werten initialisiert, und das ist es dann.

Kommen wir nun zu den öffentlichen Konstruktoren: Wir brauchen eigentlich deren drei, nämlich einen Default-Konstruktor, der ein „String"-Objekt mit dem Leerstring initialisiert, einen Konstruktor, der einen gewöhnlichen `"char[]"`-String in ein Objekt der Klasse `"String"` verwandelt und somit einen Teil der Schnittstelle zwischen unserer Stringbibliothek und der Standard-Stringverwaltung von C darstellt, und einen Kopier-Konstruktor, denn es dürfen ja niemals zwei String-Objekte

auf denselben Zeichenvektor verweisen, weshalb beim Kopieren von Objekten immer auch eine Kopie der Zeichenkette angelegt werden muß.

Mit Hilfe eines Default-Arguments können wir aus diesen drei aber zwei machen:

```
public:String (const char* = 0);
   String (const String &);
```

Auch deren Definition ist trivial, da wir ja schon die äußerst nützliche Funktion `"alloc"` haben:

```
String::String (const char *initstr)
{ alloc(initstr);
}

String::String (const String &s)
{ alloc (s.str);
}
```

Nun fehlt uns noch ein Destruktor:

```
~String();
```

Die Funktion `"free"` macht eigentlich schon alles, was der Destruktor leisten muß:

```
String::~String()
{ free();
}
```

Wir haben einen Konstruktor, der eine Zeichenfolge in einen String umwandelt. Da liegt es doch nahe, eine Konvertierungsfunktion zu schreiben, die gerade das Gegenteil macht. Zur Abwechslung deklarieren wir sie gleich als `"inline"`-Member innerhalb der Klassendefinition:

```
operator char*() const
{ if (str)
     return str;
  else
     return "";
}
```

Bei einer Wertzuweisung unter Strings müssen wir denselben Aufwand treiben wie beim Kopier-Konstruktor, nämlich eine Kopie des Zeichenvektors anlegen. Also ist auch noch der Operator `"="` zu überladen:

```
String &operator = (const String &);
```

Auch diese Memberfunktion hat eine vergleichsweise triviale Definition: Wir geben den alten Stringinhalt frei, tragen einen Zeiger auf den kopierten neuen Wert ein und geben eine Referenz auf das soeben initialisierte Objekt zurück:

```
String &String::operator = (const String &s)
{ free();
  alloc(s.str);
```

```
  return *this;
}
```

Fällt Ihnen etwas auf? Hier gibt es eigentlich nur ausgesprochen kurze Funktionen. Das ist so auch voll und ganz beabsichtigt, denn objektorientierte Programmierung soll ja dazu führen, daß die Algorithmen trivial werden, indem man die Datenstrukturen intelligent wählt.

Also geht es ebenso trivial weiter: Wir bieten dem Benutzer der Klasse noch einen schnellen und bequemen Zugriff auf die Stringlänge an, wieder in Form einer **"inline"**-Memberfunktion:

```
int length() const
{ return len;
}
```

Nun bleibt nur noch eins: Der Operator **"+"**, der zwei Strings aneinander hängen soll, muß auf intime Daten der Klasse zugreifen und wird deshalb als **"friend"** deklariert:

```
friend String operator + (const String &s1, const String &s2);
```

Da wir auf die Funktionen aus „*<string.h>*" zurückgreifen können, ist es nicht weiter aufwendig, diese Funktion zu implementieren:

```
String operator + (const String &s1, const String &s2)
{ // Wie lang ist das Ergebnis?
  int newlen = s1.length()+s2.length();

  // Speicher anfordern:
  char *newstr = new char[newlen+1];   // Wenn's geklappt
  // hat,dann String darin montieren:
  if (newstr)
  { strncpy (newstr,s1,s1.length());
    strncat (newstr,s2,s2.length())
  }

  // Mit dem "Spezialkonstruktor" wird aus Länge und Stringzeiger
  // ein Stringobjekt erzeugt:
  return String(newlen, newstr);
}
```

Spaßeshalber implementieren wir jetzt auch noch den Vergleichsoperator **"=="**, der zwei Strings mit **"strcmp"** auf zeichenweise Gleichheit testet. Diese Funktion muß weder als Member noch als **"friend"** deklariert werden, da sie auch so an alle für sie notwendigen Daten herankommt.

```
int operator == (const String &s1, const String &s2)
{ return !strcmp(s1,s2);
}
```

Der Aufruf von **"strcmp"** geht hier absolut locker und problemlos, da ja eine Konvertierungsfunktion von **"String"** nach **"char*"** existiert.

Man beachte, daß diese Funktion nicht die gewöhnliche Vergleichsoperation auf Zeigern und Vektoren überdeckt: Bei

```
char *s;   if (s == "Nanu") ...
```

werden jetzt immer noch die Adressen der beiden Zeichenketten verglichen. Unser selbstdefinierter Operator wird also nur aufgerufen, wenn mindestens ein Operand ein Objekt der Klasse `"String"` ist:

```
String t;   if (t == "Jau") ...
```

Natürlich kann man das auch durch ein explizites Casten erzwingen:

```
char *u;
if (String(u) == String("Jawoll!")) ...
```

Zu unserem Glück fehlt uns noch eine Möglichkeit, Strings auszugeben. Natürlich kann man das mit

```
String x;
cout « (char*)x;
```

bewerkstelligen, aber erstens kann man hier den Cast wegen der am Ende von 4.1.2.1 genannten Gründe nicht weglassen und zweitens ist diese Methode sehr unsicher, wenn der Compiler ein temporäres Objekt einführt, etwa bei

```
String x, y;
cout « (char*)(x+y);          // Vorsicht!
```

Deshalb überladen wir einfach den Operator `"«"`, so wie es in 4.2.2.7 gelernt haben:

```
ostream &operator « (ostream& out, const String& s)
{ return out « (char*)s;
}
```

Die eigentliche Ausgabe und die Rückgabe der Referenz in einer einzigen Anweisung zu verbinden, ist zwar trickreich, aber natürlich erlaubt, denn `"out « xxx"` gibt ja generell eine Referenz auf `"out"` zurück, und genau das soll auch unsere eigene Operatorfunktion als Ergebnis liefern.

Haben Sie die Übersicht verloren? Das kann ich gut verstehen, denn in den Listing-Fragmenten ging es oben doch manchmal etwas durcheinander. Deshalb kommt jetzt noch einmal das Ganze Programm im Überblick:

```
  // Stringbibliothek (verkleinerte Version von "tools/str.h")
  // *** Deklaration der Klassen und Funktionen:

class String
{ char *str;
  nt len;
  void alloc (const char*);
  void free();
  String (int, char*);
```

```
   public:String (const char* = 0);
   String (const String &);
   ~String();
   operator char*() const
   { if (str)
        return str;
     else
        return "";
   }
   String &operator = (const String &);
   int length() const
   { return len;
   }
   friend String operator + (const String &s1, const String &s2);
};

int operator == (const String &s1, const String &s2);

class ostream& operator « (ostream&, const String&);

// *** Implementierung:

#include <string.h>
#include <stream.h>

void String::alloc (const char *initstr)
{ if (initstr)
   { len = strlen(initstr);
     str = new char[len+1];
     if (str)
        strcpy(str, initstr);
     else
        exit(42);
   }
   else
   { len = 0;
     str = 0;
   }
}

void String::free()
{ if (str)
   { delete [ ] str;
     str = 0;
   }
}

String::String (int len, char *str) : len(len), str(str) {
}

String::String (const char *initstr)
{ alloc(initstr);
```

```
}

String::String (const String &s)
{ alloc (s.str);
}

String::~String()
{ free();
}

String operator + (const String &s1, const String &s2)
{ int newlen = s1.length()+s2.length();
  char *newstr = new char[newlen+1];
  if (newstr)
  { strncpy (newstr,s1,s1.length());
    strncat (newstr,s2,s2.length())
  }
  return String(newlen, newstr);
}

String &String::operator = (const String &s)
{ free();
  alloc(s.str);
  return *this;
}

int operator == (const String &s1, const String &s2)
{ return !strcmp(s1,s2);
}

ostream &operator « (ostream& out, const String& s)
{ return out « (char*)s;
}

// *** Test- und Beispielprogramm:

void main()
{ String s1, s2="I didn't expect the", s3;
  s1 = "Spanish Inquisition";
  s3 = s2 + " " + s1;

  char *awurx = "Vor"+"sicht"; // Unsichere Operation, da
                                // temporäres Objekt!
  cout « s3+".\n";
}
```

5. Der Preprozessor

5.1 Allgemeines

Ich weiß, es ist für Sie ebenso wie für mich eine Zumutung, aber trotzdem muß ich mich jetzt nach den ganzen tollen objektorientierten Features über etwas so primitives wie den Preprozessor auslassen. Wie so ziemlich alles in C, kann man mit dem Preprozessor furchtbar starke Sachen machen, aber sein Programm auch dermaßen verwirren, daß es niemand mehr versteht.

Theoretisch ist der Preprozessor ein eigenständiges Programm, das den Quelltext vor-verarbeitet, bevor der C- oder C++-Compiler ihn zu sehen bekommt. Das Ergebnis ist im Prinzip ein vereinfachter Quelltext, bei dem der Compiler sich nicht mehr um triviale Dinge zu kümmern braucht, insbesondere um das Einbinden von Includes, Definieren und Ersetzen von Macros, Weglassen vom Kommentaren und bedingte Übersetzung, also das Einfügen bzw. Weglassen von Quelltextteilen in Abhängigkeit von Bedingungen.

Preprozessor und Compiler arbeiten normalerweise (aber was ist in Zeiten wie diesen schon normal?) völlig unabhängig voneinander, und keinen interessiert, was der andere macht oder gemacht hat. Deshalb könnte man einen C-Preprozessor durchaus für die Vorverarbeitung von Pascal-Programmen oder irgendwelchen anderen Texten benutzen, und es soll tatsächlich Leute geben, die so etwas tun.

Der Preprozessor von MaxonC++ ist fest in den Compiler integriert. Dadurch ist es nicht möglich, einen Text nur durch den Preprozessor laufen zu lassen, ohne ihn zu compilieren. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß der Compiler dadurch schneller wird und nirgendwo einen zusätzlichen Zwischencode ablegen muß. Wenn Sie andererseits wirklich das Bedürfnis verspüren sollten, einen Text vorverarbeiten zu lassen, ohne ihn durch den Compiler jagen zu wollen, muß ich Sie auf die PD-Serie verweisen. Der MaxonC++ Preprozessor ist integrer Bestandteil des MaxonC++ Compiler Systems, und daran ist nichts zu ändern.

Gesteuert wird der Preprozessor über Quelltextzeilen, die mit einem `"#"` anfangen. Dahinter hat normalerweise der Name eines Proprozessorbefehls zu stehen. Unser kleiner Freund befolgt dann diesen Befehl und löscht ihn dann natürlich rückstandlos aus dem Quelltext, so daß der Compiler normalerweise nichts davon mitbekommt. Zwei solcher Anweisungen wurden in diesem Handbuch bereits benutzt: `"#include"` zum Einbinden von Headerdateien mit Definitionen und `"#pragma"` zum Umschalten zwischen ANSI C- und C++-Modus (wobei `"pragma"` noch wesentlich mehr kann).

Jedenfalls muß das `"#"` immer an Zeilenanfang stehen, eventuell mit ein paar Leerzeichen davor, und die Preprozessoranweisung geht genau bis zum Zeilenende. Hier liegt der Preprozessor „schief" zum Compiler, denn in C und C++ ist es ja vollkommen belanglos, wo eine Zeile anfängt oder aufhört. Wesentlich konsistenter wäre es, wenn man Preprozessoranweisungen an beliebiger Stelle mit einem `"#"` beginnen und dann mit einem `";"` oder einem anderen geeigneten Zeichen abschließen könnte, aber man hat den Sprachstandard nun einmal anders definiert und mich fragt ja kei-

ner. Merken Sie sich also, daß der Preprozessor streng zeilenorientiert arbeitet und ich ihn deshalb nicht besonders mag.

Aber nun zu `"#define"`, einer der nützlichsten Preprozessorfunktionen überhaupt.

5.2 Was Sie schon immer über #define wissen wollten, aber nicht zu fragen wagten

5.2.1 Makrodefinition

Wie jeder alte Grieche weiß, heißt „makros" (mit Betonung auf der letzten Silbe) so viel wie „groß". Fragen Sie mich aber bitte nicht, was das mit den Makros zu tun hat, die Gegenstand dieses Abschnitts sind.

Nach einer Zeile wie

```
#define Name Weiss der Geier was!
```

ersetzt der Preprozessor überall im Quelltext den Bezeichner `"Name"` durch `"Weiss der Geier was!"`. Hinter dem `"#define"` hat als erstes der Makroname zu stehen, der stets ein Bezeichner ist.

Offensichtlich kann man dieses Feature benutzen, um häufig wiederkehrende Texte abzukürzen, aber auch, um das Aussehen des Quelltexts stark zu verändern - dazu später mehr. Im frühen C-Standard war dies außerdem die einzige Möglichkeit, Konstanten zu definieren, etwa so:

```
#define N 100

int Vektor[N];
```

Nach der `"define"`-Anweisung wird das Makro `"N"` überall durch die Zahl `"100"` ersetzt. Unschön ist dabei, daß hier keine Scoperegeln gelten, denn der Preprozessor hat bekanntlich nicht so ganz viel mit dem Compiler zu tun:

```
void f()
{
#define x 50
}

void g()
{
#define x "Hello, World!" // ERROR: "x" re-defineirt
}
```

Es gibt für solche Makronamen nur einen einzigen, globalen Gültigkeitsbereich. Ein Makro darf allerdings zweimal mit dem gleichen Wert definiert werden, wobei eine unterschiedliche Anzahl von Leerzeichen egal ist:

```
#define SUM a+b
#define SUM a + b
```

Außerdem kann man eine Makrodefinition löschen, und zwar mit der Preprozessor-Anweisung `"#undef"`:

```
#define GANZ int

 GANZ i1, i2;       // OK

#undef GANZ

GANZ i3, i4;    // ERROR
```

Ein „Token" ist ein einzelnes Quelltextsymbol, also ein Bezeichner (z. B. `"xyz"`), eine Konstante (numerisch oder String), ein reservieres Wort (wie `"int"` oder `"private"`), ein Operator (z. B. `"+"`) oder ein sonstiges Trennzeichen (`"["`, `";"`). Dagegen sind Kommentare, Leerzeichen oder Preprozessoranweisungen keine Token. Der Preprozessor wandelt den Quelltext in eine Folge von Token um, die der Compiler dann direkt verarbeiten kann. Die Ersetzung von Makros erfolgt in C streng tokenorientiert:

```
#define PLUS +

int i;

void f()
{ i PLUS= 1;
} // ERROR
```

ist ein Fehler, denn obwohl `"PLUS"` und `"="` direkt aufeinander folgen, ergeben sich daraus nach der Makroexpansion die beiden Token `"+"` und `"="` und nicht etwa das Token `"+="`.

Ich kann nicht oft genug wiederholen, daß der Preprozessor keine Ahnung von C hat und der Compiler nicht weiß, wie die Tokenfolge seiner Eingabe zustande gekommen ist. Also werden Bindungsregeln und der Vorrang von Operatoren total ignoriert, womit man ganz schön heftig auf die Schnauze fallen kann:

```
#include <stream.h>

#define N 17
#define M N+4

void main()
{ cout « 2*M;
}
```

Die Ausgabe ist hier **„38"** und nicht etwa **„42"**, denn da der Preprozessor gnadenlos Token ersetzt, wird `"2*M"` als `"2*17+4"` expandiert. Deshalb sollte man Makros, in denen Operatoren vorkommen, immer klammern:

```
#define M (N+4)
```

Stillschweigend habe ich Ihnen hier ein verschachteltes Makro untergejubelt. In der Tat darf man Makros benutzen, um andere zu definieren, so wie oben `"N"` in der Definition von `"M"` vorkommt. Dabei werden bei der Definition eines Makros darin enthaltene Makros nicht sofort, sondern erst bei der Benutzung des Makros expandiert:

```
#define N 100
#define M (2*N)
#undef N

int i = M;     // ERROR: Bezeichner "N" unbekannt
```

Da `"N"` undefiniert wird, ist es im folgenden ein ganz gewöhnlicher Bezeichner und wird vom Preprozessor auch als solcher an den Compiler weitergegeben, d. h. `"M"` wird hier wirklich als `"(2*N)"` und nicht als `"(2*100)"` expandiert.

Übrigens arbeitet der Preprozessor in mehreren Schritten, wobei das Entfernen vom Kommentaren logisch gesehen lange vor dem Ersetzen und Definieren von Makros kommt. Deshalb wird folgendes Makro nicht das Gewünschte leisten:

```
#define REM //

REM Dies soll ein Kommentar wie in BASIC sein,
REM ist aber leider falsch!
```

Hier werden zuallererst Kommentare, also auch der leere Komentar `"//"`, aus dem Quelltext gekickt, und erst dann stellt der Preprozessor fest, daß `"REM"` als Makro definiert wird - und zwar als leeres Makro. Also ersetzt er im nachfolgenden Quelltext `"REM"` wunschgemäß überall durch nichts, aber das, was jeweils danach in der Zeile steht, bleibt unverändert stehen und wird an den Compiler weitergegeben.

Es gibt übrigens eine Art Konvention, daß Makronamen immer aus Großbuchstaben bestehen sollten. Dadurch soll es etwas leichter werden, in einem Quelltext zu erkennen, was nun „echt" ist und was noch vom Preprozessor verändert werden wird.

Makros sind ein wunderbares Mittel, seinen Quelltext vollkommen undurchschaubar zu machen. Auf dem UseNet kursieren schon Tips für alle, die einen Programmierer ärgern wollen: Fügen Sie doch einfach bei einem „Freund" in eines seiner Includefiles, z. B. in `"<stream.h>"`, ein paar neue „Makros" ein, etwa so:

```
#define while if
#define double int
```

Das bedauernswerte Opfer dürfte ziemlich lange brauchen, um herauszufinden, warum ein Programm nicht so läuft, wie es soll...

5.2.2 Makros mit Parametern

Erheblich cooler sind allerdings Makros mit Parametern. Man deklariert sie, indem man unmittelbar hinter den Makronamen eine geklammerte Bezeichnerliste setzt, zum Beispiel wie im folgenden beispielhaften Beispiel:

```
#include <stream.h>

#define ABS(n) ((n)>0 ? +(n):-(n))
#define MAX(p1,p2) ((p1)>(p2) ? (p1) : (p2))

void main()
{ int i = ABS(-7), j = MAX(i+1,9);
  cout « i « " " « j « endl;
}
```

Beim Makroaufruf ist dann für jeden Parameter eine beliebige Tokenfolge anzugeben. Die Argumente sind durch Kommata zu trennen, wobei Kommas innerhalb von Klammern, wie das erste Komma im folgenden Beischlaf:

```
MAX(f(1,2), 42);
```

nicht als Trennung gelten, so daß obiger Makroaufruf korrekt ist.

Die einzige Anforderung an die Makro-Argumente ist, daß ihre Anzahl stimmen muß. Davon einmal abgesehen kann es sich um beliebige Tokenfolgen handeln, und als solche werden sie vom Prepro-zzessor auch behandelt. Deshalb ist es meist empfehlenswert, die Parameternamen in der Makrodefinition zu klammern:

```
#define DIFF(a,b) a-b

int i = DIFF(42, 17+4);
```

führt zu einem wahrscheinlich unerwarteten Ergebnis, denn der Aufruf von `"DIFF"` wird hier als `"42-17+4"` expandiert. Klüger ist deshalb

```
#define DIFF(a,b) (a)-(b)
```

Wenn man aber in der Makrodefinition ein `"#"` vor einen Parameternamen stellt, wird das zugehörige Argument als String-Literal expandiert:

```
#define TEST(string) cout « "Hello " « #string « "!";

#include <stream.h>

void main()
{ TEST(World)
}
```

Wird der Makroaufruf zu

```
cout « "Hello " « "World" « "!";
```

expandiert, d. h. der Preprozessor setzt gewissenmaßen Anführungszeichen um den Parameter.

Dagegen dient der Operator `"##"` zum Verbinden von Token:

```
#define MYIDENT(x) geheim_ ## x

int MYIDENT(i);
```

Durch das `"##"` wird der Makroaufruf nicht mit `"geheim_ i"`, sondern dem einzelnen Token `"geheim_i"` ersetzt. Dabei muß das Ergebnis der Verbindung aber immer ein einzelnes Token sein:

```
MYIDENT(!)
```

ist ein falscher Aufruf, denn `"geheim_"` und `"!"` bilden zusammen kein gültiges Token.

Makros mit Argumenten sind sehr beliebt, um solche Mini-Funktionen wie `"ABS"` oder `"MAX"` zu implementieren. Als C++-Programmierer sollte man sich aber überlegen, ob man für so etwas nicht doch lieber eine `"inline"`-Funktion benutzt, denn wenn der Compiler alle möglichen Optimierungen anwendet, ist das genauso effektiv.

5.3 Was Sie noch nie über #include wissen wollten, aber jetzt trotzdem erfahren

Die Preprozessoranweisung `"#include"` fügt den Inhalt einer Datei an der entsprechenden Stelle in den Quelltext ein. Als einziges Argument hat `"#include"` einen Dateinamen, wobei es zwei verschiedene Möglichkeiten gibt, diesen Dateinamen zu schreiben:

```
#include <name>
```

mit den spitzen Klammern sucht die Datei zuerst in einem ganz bestimmten Verzeichnis, wobei es verschiedene Möglichkeiten gibt, dieses Verzeichnis festzulegen:

- In der integrierten Entwicklungsumgebung von MaxonC++ legt man das Verzeichnis mit dem Menüpunkt **„Optionen/Compiler-Suchpfade"** fest, oder man stellt den gewünschten Pfad mit dem *„CPrefs"*-Programm ein.
- In der Kommandozeilenversion ist der Pfad *„MCPP:include"* als Default angegeben, den man mit der Option `"-i"` beliebig anders setzen kann. Damit kann man auch mehrere Pfade angeben, die der Preprozessor dann nacheinander nach der gewünschten Datei absucht.

Man benutzt diese Form von `"#include"`, um Standard-Includefiles einzubinden, z. B. *<stdio.h>* oder *<stream.h>*, aber auch die Amiga-Systemincludes.

Als kleines Bonbon vor allem für Diskettenbenutzer gibt es auch noch die Möglichkeit, die benutzten Dateien auf einen schnelleren Datenträger umkopieren zu lassen: Wenn Sie einen doppelten Suchpfad angeben, sucht der Preprozessor zuerst unter dem ersten Pfad, der z. B. in der RAM-Disk

liegen könnte. Findet er die Datei dort nicht, versucht er es über den zweiten Pfad, z. B. auf einer Diskette, und kopiert die Datei in das erste Verzeichnis um. Beim nächsten Übersetzungsvorgang liegt die Datei dann auf dem schnellen Medium vor. Übrigens legt der Preprozessor vor dem Umkopieren bei Bedarf selbständig die benötigten Unterverzeichnisse an.

Bei der zweiten Möglichkeit, ein Includefile einzubinden, setzt man den Dateinamen wie einen ganz gewöhnlichen String in Anführungszeichen:

```
#include "name"
```

Nun sucht der Preprozessor die Datei im aktuellen Verzeichnis. Diese Variante dient hauptsächlich dazu, selbstgeschriebene Dateien einzufügen. Der für Standard-Includes vorgesehene Pfad wird dabei zunächst nicht beachtet und folglich die Datei auch nicht umkopiert.

Unter MaxonC++ sind die beiden Varianten von `"#include"` allerdings praktisch gleichwertig, denn bei der `<xxx>`-Syntax versucht der Preprozessor es zuerst über den Standard-Pfad und bei Mißerfolg dann auch noch über das aktuelle Verzeichnis, und bei `"xxx"` ist die Reihenfolge gerade umgekehrt.

5.4 Bedingte Übersetzung

Mit dem Preprozessor kann man zur Übersetzungszeit Entscheidungen treffen, nämlich Teile des Quelltexts aufgrund bestimmter Bedingungen aus dem Quelltext auszublenden. Dazu dienen Konstrukte der Form

```
#if Bedingung

#endif
```

Ist die „Bedingung" erfüllt (was in C ja immer „ungleich Null" heißt), wird der nachfolgende Text gelesen, andernfalls wird alles bis zum `"#endif"` übersprungen.

Die Bedingung ist hier ein konstanter Ausdruck, der ganzzahlig ausgewertet wird. Dieser Ausdruck kann aus numerischen Konstanten und allen damit sinnvollen Operatoren bestehen. Makros werden im Ausdruck expandiert und alle anderen Bezeichner durch die Konstante „0" ersetzt. Außerdem können Ausdrucke wie

```
defined Name
```

oder

```
defined(Name)
```

darin auftauchen. Das Ergebnis ist `"1"`, wenn `"Name"` als Makro definiert ist, und andernfalls `"0"`.

Eine Zeile

```
#if defined x
```

kann ersetzt werden durch

```
#ifdef x
```

und entsprechend

```
#if !defined y
```

durch

```
#ifndef y
```

Die Abfrage, ob ein Symbol definiert ist, ist die wohl häufigste Form der bedingten Übersetzung. Beispielsweise geht es bei Include-Dateien oft ziemlich durcheinander, so daß es nicht immer ganz einfach ist, sicherzustellen, daß jede Datei nur einmal gelesen wird. Solche Probleme löst man normalerweise, indem man in jeder Datei ein bestimmtes Symbol definiert, anhand dessen der Preprozessor feststellen kann, ob er diese Datei schon gelesen hat:

```
#ifndef GANZ_SPEZIELLER_NAME
#define GANZ_SPEZIELLER_NAME

// Hier steht der eigentliche Inhalt der Datei.

#endif
```

Die Amiga-Systemincludes machen von diesem Schema ausgiebig Gebrauch.

Fast wie im richtigen Leben gibt es auch zu `"#if"` ein `"#else"`:

```
#if Bedingung

// Text1

#else

// Text2

#endif
```

Die Bedeutung dieses Konstrukts dürfte klar sein: Abhängig von der Bedingung wird entweder der erste oder der zweite Text gelesen und der jeweils andere übersprungen.

Ein Äquivalent zum `"switch"` hat der Preprozessor nicht, aber er erleichtert die Konstruktion von Mehrfachabfragen durch `"#elif"`, was sich natürlich von `"else if"` ableitet

```
#define N 2

#if N == 0     Text #0
#elif N == 1     Text #1
#elif N == 2     Text #2
#else     Text #3
#endif
```

Der `"else"`-Teil ist bei einer `"if"-"elif"`-Konstruktion natürlich optional. Gibt es kein `"#else"` und ist keine der Bedingungen wahr, wird eben das Ganze Konstrukt übersprungen.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß man solche Abfragen auch ineinander verschachteln kann. Gäbe es z. B. kein `"#elif"`, müßte man für obige Konstruktion folgendes schreiben:

```
#define N 2

#if N == 0     Text #0
#else
#if N == 1      Text #1
#else
#if N == 2       Text #2
#else
Text #3
#endif
#endif
#endif
```

5.5 Pragmatismus

5.5.1 Allgemeines und Wiederholungen

Bei jedem Standard kommt irgendwann der Punkt, wo er nicht mehr ausreicht. Deshalb ist im ANSI-Standard eine Möglichkeit vorgesehen, den Sprachumfang in einer Implementierung zu erweitern, ohne daß es dadurch zu Inkompatiblitäten zwischen den verschiedenen Compilern kommt: Die Preprozessor-Anweisung „#pragma".

Jede Implementierung kann selbst festlegen, was in einer Pragma-Zeile stehen darf und was es bedeuten soll. Es wird nur verlangt, daß eine unbekannte Syntax - also z. B. Pragmas eines anderen Compilers - nicht als Fehler gemeldet, sondern ignoriert werden muß. Das hat leider auch die Folge, daß der Preprozessor versehentlich gemachte Fehler nicht als solche meldet und man sich nachher vielleicht wundert, warum ein `#pragma` keine Wirkung hat.

Ein paar `#pragma`-Anweisungen wurden in diesem Handbuch schon an früherer Stelle vorgestellt, aber der Vollständigkeit halber seien sie hier noch einmal vorgestellt:

```
#pragma -
```

schaltet den Compiler in den ANSI C-Modus.

```
#pragma +
```

geht wieder zurück in den C++-Modus.

```
#pragma chip
```

legt alle nachfolgend deklarierten statischen Daten im CHIP-RAM ab.

```
#pragma fast
```

schaltet wieder in den normalen Modus zurück, d. h. alle Daten werden da abgelegt, wo gerade Platz ist.

5.5.2 Breakpoint-Kontrolle

MaxonC++ kann Programme erzeugen, die vom Benutzer abgebrochen werden können. Das ist einerseits während der Programmentwicklung angenehm, wenn man versehentlich eine Endlosschleife programmiert hat, und andererseits ist es oft sinnvoll, wenn der „normale" Anwender eines Programms die Programmausführung mehr oder weniger gewaltsam abbrechen kann.

Ein Programm fängt einen Abbruch ab, indem es an bestimmten Stellen, z. B. mindestens einmal innerhalb jeder Schleife, das Signalbit prüft, das durch die Tastenkombination <Ctrl>+<C> oder das CLI-Kommando `"break"` gesetzt wird. Natürlich kosten diese Tests Rechenzeit, einmal ganz zu schweigen von den dafür nötigen zusätzlichen Anweisungen. Außerdem ist es oft gar nicht wünschenswert, wenn eine bestimmte Aktion einfach so abgebrochen wird - man stelle sich einmal eine Textverarbeitung vor, die bei der Tastenkombination `"^C"` einfach aussteigt, ohne vorher abzuspeichern... Lange Rede, schwacher Sinn: Natürlich ist diese Abbruchmöglichkeit optional. Sie können Sie aktivieren, indem Sie die entsprechende Option im Optionen-Dialogfenster bzw. die Compileroption `"-gb"` in der Kommandozeilenversion benutzen, andernfalls ist sie deaktiviert.

Aber auch das ist in der Praxis noch nicht der Weisheit letzter Schluß: Vielleicht möchte man ja in einigen Programmteilen die Abbruchmöglichkeit benutzen und in anderen nicht. Dafür gibt es in MaxonC++ das Pragma `"break"`.

```
#pragma break +
```

schaltet das Setzen der Breakpoints ein und

```
#pragma break -
```

wieder aus.

Ein Beispiel:

```
void main()
{ int i, j=0;

#pragma break-

   for(i=0; i<100000; ++i)
     j = i-j;

#pragma break+

   for(i=0; i<100000; ++i)
```

```
    j = i-j;
}
```

In der ersten `"for"`-Schleife kann das Programm nicht abgebrochen werden, in der zweiten aber schon. Drückt man `"^C"`, während noch die erste Schleife abgearbeitet wird, geschieht zunächst einmal nichts. Erst zu Beginn der zweiten Schleife schaut das Programm wieder nach, ob das fragliche Signal eingetroffen ist, und steigt mit der Meldung

***** User break**

aus. Der Abbruch entspricht dabei einem `"exit(900)"`. d. h. es werden Dateien geschlossen und Speicher und sonstige Resourcen freigegeben. Auch mit `"atexit"` eingehängte Funktionen werden noch ausgeführt. Natürlich ist ein solcher Abbruch ein typisches Low-Level-Konstrukt, so daß dabei keine Destruktoren aufgerufen werden.

Ähnlich wie bei `"for"` werden auch bei `"while"`- und `"do"`-Schleifen sowie bei Schleifenverdächtigen `"goto"`-Sprüngen solche Abbruchtests eingefügt. Schlauberger werden jetzt natürlich wissen wollen, was bei

```
#pragma break+
while(Bedingung)
{ #pragma break-
}
```

ist, ob also der Wert zählt, der beim Schleifenanfang eingestellt ist, oder der, der beim Schleifenende gilt. Dazu kann ich nur sagen, daß noch nicht einmal ich das auswendig weiß und so etwas sich auch von Version zu Version ändern kann. Wenn man also „pragma break" benutzt, sollte man das so tun, daß es eindeutig ist.

Bleibt noch die Frage offen, was eine Abbruchkontrolle unter MaxonC^{++} nun wirklich kostet. Sie ist wohl aufs Äußerste optimiert und sieht in Assembler so aus:

```
move.l  Signaladresse, An
btst    #Signalnummer, (An)
bne     Ausstieg
```

Diese drei Instruktionen machen sich wirklich nur in sehr engen Schleifen bemerkbar. Die Laufzeit einer leeren `"for"`-Schleife wird dadurch z. B. noch nicht einmal verdoppelt, und bei Schleifen, die wirklich etwas tun (also in der Praxis so ziemlich alle) ist der relative Zeitverlust entsprechend gering.

5.5.3 Amiga-spezifische Systemaufrufe

In Abschnitt 2.2.1.2.4 wurde dargestellt, wie Routinen des Amiga-Betriebssystems aufgerufen werden, und außerdem wurde Ihnen versprochen, daß es außer der dort beschriebenen Pseudo-Link-Spezifikation noch eine andere Notation gibt, mit der man Systemfunktionen deklarieren kann. Voila, hier ist sie:

Wie Sie sich vielleicht denken können, hat auch dies mit einem **"pragma"** zu tun, und zwar mit dem pragma **"amicall"**. Eine solche Deklaration besteht im Wesentlichen aus vier Teilen:

1. Der Name der Basisvariablen
2. Der Offset als positive Zahl (d. h. der Compiler ergänzt sich das Minuszeichen selbst).
3. Der Funktionsname. Die Funktion muß bereits deklariert worden sein und darf aus Gründen der Eindeutigkeit nicht überladen sein.
4. Die Parameterliste, vertreten durch eine entsprechende Anzahl von Registernamen in runden Klammern.

Um das Ganze setzen wir ein Paar runder Klammern und noch **"#pragma amicall"** davor, und fertig ist die Deklaration.

Ein Beispiel:

```
#pragma amicall(DiskfontBase, 30, OpenDiskFont(a0))
#pragma amicall(DiskfontBase, 36, AvailFonts(a0,d0,d1))
#pragma amicall(DiskfontBase, 42, NewFontContents(a0,a1))
#pragma amicall(DiskfontBase, 48, DisposeFontContents(a1))
#pragma amicall(DiskfontBase, 54, NewScaledDiskFont(a0,a1))
```

Auch hier sei noch erwähnt, daß Sie solche Deklarationen normalerweise nicht selbst werden schreiben müssen, denn Sie bekommen sie für alle Amiga-Libraries mitgeliefert.

Nun werden sich sicher einige beschweren, daß MaxonC++ hier zwei unterschiedliche Konzepte für dieselbe Sache hat. Das ist natürlich richtig, aber beide Varianten haben ihre Vorteile:

- Die Link-Spezifikation ist in die Syntax der Sprache selbst integriert, was formal schöner als eine von außen „aufgepfropfte" Preprozessoranweisung ist. Außerdem eignet sich diese Variante auch für überladene Funktionsnamen, was zugegebenermaßen bei Betriebssystemfunktionen eher selten bis gar nicht vorkommt.
- **"pragma amicall"** ist der de-facto-Standard, für viele Amiga-Programmierer sogar das Pragma an sich. Auf Messen fragt z. B. so mancher „Kann der Compiler auch Pragmas?" und meint damit, ob man Betriebssystemfunktionen mit den üblichen Pragma-Zeilen direkt anspringen kann. Außerdem kollidieren Pragmas nicht mit dem C-Standard, da hier jeder Compiler alles kommentarlos überlesen muß, was er nicht kennt.

Bei den Include-Files, die mit MaxonC++ geliefert werden, hat **"#pragma amicall"** übrigens das Rennen gemacht, während die **"extern Amiga"**-Deklarationen in der vorliegenden Version nicht mehr auftauchen.

5.6 Noch mehr Features

5.6.1 Verbinden von Zeilen

Bekanntlich ist es in C absolut Banane, wo Zeilen anfangen oder aufhören. Dagegen ist dies beim Preprozessor durchaus relevant, denn hier muß jede Anweisung genau eine Zeile umfassen. Natürlich kann es dazu kommen, daß eine Zeile, z. B. durch eine umfangreiche Makrodefinition, arg lang und unhandlich wird. Für solche Gelegenheiten gibt es den Backslash („Gegenschrägstrich"). Wenn ein `"\"` am Zeilenende steht, wird diese Zeile mit der nachfolgenden verbunden, z. B. so:

```
#define Eumel \
26731
```

Dies ist eine gültige Makrodefinition, denn „26731" wird hier in die vorhergehende Zeile gezogen. Dieses Verfahren läßt sich fortsetzen, so daß man beliebig viele Zeilen logisch zu einer einzigen verbinden kann.

5.6.2 Verbinden konstanter Zeichenketten

Wenn im Quelltext mehrere Zeichenketten unmittelbar aufeinander folgen, macht der Preprozessor eine einzelne daraus:

```
char *s = "Dritte Tür links, " "jeder nur ein Kreuz!";
```

Man benutzt dieses Feature vor allem dann, wenn ein Teil einer konstanten Zeichenkette in Form eines Makros vorliegt, z. B.

```
#define DEVICE "dh1:"
#define SUBDIR "cpp"
#define FILE "M+Plus"

char Dateiname[] = DEVICE SUBDIR "/" FILE;
```

Dies ist absolut äquivalent zu und identisch mit

```
char Dateiname[ ] = "DH1:cpp/M+Plus";
```

Dieses Verbinden von Zeichenketten ist, wie Sie hier sehen, der so ziemlich letzte Arbeitsschritt des Preprozessors und erfolgt somit nach dem Ersetzen von Makros.

5.6.3 Trigraph-Sequenzen

Angeblich gibt es immer noch Rechner, die keinen vollständigen ASCII-Zeichensatz besitzen. Mitr persönlich fallen da zwar nur der C64 und diverse CP/M-Kisten ein, aber trotzdem hat die ANSI-Kommision auch an solche Phantomrechner gedacht und eine Möglichkeit eingeführt, auch auf solchen Systemen standardkonform C zu implementieren: die Drei-Zeichen-Folgen oder Trigraph-Sequenzen, wie der Lateiner sagt.

Der Preprozessor ersetzt einige Zeichenfolgen, die jeweils mit zwei Fragezeichen beginnen, durch ein anderes Zeichen, das in C bzw. C++ gebraucht wird. Im einzelnen werden folgende Ersetzungen vorgenommen:

```
??=  #
??(  [
??)  ]
??/  \
??<  {
??>  }
??'  ^
??!  |
??-  ~
```

Das folgende Programm illustriert dieses Feature:

```
??=include ??/     <stream.h>

void main()
   ??< char c??(??)="Test";
   cout << c;    ??>
```

Ausgesprochen hübsch, nicht wahr? Da diese Ersetzungen ganz zu Anfang der Vorverarbeitung erfolgen, kann man auch Überraschungen erleben:

```
#include <stream.h>

void main()
{  cout << "(Nanu???)";
}
```

Dieses Programm gibt

(Nanu?]

aus, denn die entsprechende Trigraph-Sequenz wird rücksichtslos durch die Klammer `"]"` ersetzt. Sollte man wirklich einmal in eine solche Verlegenheit kommen, kann man sie aber umgehen, indem man das oben erwähnte Verbinden von Zeichenketten benutzt, denn das geschieht erst lange nach dem Ersetzen der Drei-Zeichen-Folgen:

```
#include <stream.h>

void main()
{  cout << "(Nanu??" "?)";
}
```

5.6.4 Hausgemachte Fehlermeldungen

Die meisten Programmierer ärgern sich, wenn der Compiler einen Fehler meldet. Es gibt aber auch solche, die das dringende Bedürfnis haben, zusätzliche Fehlermeldungen selbst zu erzeugen, und die können sich freuen, denn C bietet für jeden etwas.

Eine Zeile der Form

```
#error Irgendwas
```

veranlaßt den Preprozessor, eine entsprechende Fehlermeldung auszugeben. Typische Anwendungen sind Tests, ob Makros definiert sind, etwa so:

```
#ifndef SYMBOL
#error SYMBOL ist nicht definiert!
#define SYMBOL 42  // Defaultwert
#endif

char c[SYMBOL];
int i = SYMBOL-1;
```

5.6.5 Getürkte Dateinamen und Zeilennummern

Tatsächlich werden nicht alle Programme vom Menschen geschrieben. Gerade C-Quelltexte werden oft von anderen Programmen erzeugt: Da gibt es Konvertierungsprogramme (im weitesten Sinne Compiler), die Pascal oder FORTRAN nach C umwandeln, nicht zu vergessen diese seltsamen C++-Frontends. Andere Beispiele sind Parsergeneratoren (ich bin übrigens stolz darauf, daß MaxonC++ vollständig ohne solche entstand - darum ist es ja auch so schnell), Oberflächengeneratoren wie MAXON's hervorragendes MakeAPP und andere Arten von CASE-Tools. Nehmen wir einmal an, wir haben ein Programm, in das auf der einen Seite eine Textdatei (also ein Quelltext im weitesten Sinn) hereinkommt und auf der anderen Seite ein C-Quelltext als Ausgabe erzeugt. Nun kann es natürlich sein, daß dieses C-Programm Fehler enthält, die auf eine fehlerhafte Eingabe zurückzuführen sind und deshalb vom Benutzer in der Eingabedatei korrigiert werden müssen. Dann wäre es natürlich hilfreich, wenn der C-Compiler tatsächlich die Fehlerposition in der Quelldatei melden würde. Oder man möchte das resultierende Programm gern mit einem Source-Level-Debugger testen, und dann möchte man natürlich nicht den C-Quelltext sehen (den man ja nicht selbst geschrieben hat), sondern direkt in der ursprünglichen Quelldatei debuggen.

Deshalb gibt es die Preprozessor-Anweisung `"line"`, und zwar in zwei verschiedenen Formen.

```
#line 42
```

sagt dem Compiler, daß die folgende Zeile bitteschön die Nummer 42 haben soll, und

```
#line 4711 "Suck"
```

gibt die Pseudo-Zeilennummer `4711` und den Pseudo-Dateinamen `"Suck"` vor.

In den nachfolgenden Zeilen wird die so vorgegebene Zeilennummer ganz gewöhnlich fortgezählt. Auch der Pseudo-Dateiname bleibt erhalten, bis ein neuer angegeben wird.

5.6.6 Nix dahinter

Eine leere Preprozessor-Anweisung der Form

```
#
```

ist auch erlaubt und hat keine Bedeutung.

5.7 Vordefinierte Symbole

Der Preprozessor besitzt einige nützliche vordefinierte Makros. Dabei handelt es sich zum Teil um ANSI C-genormte Symbole, andere sind Bestandteil von C++ oder spezielle Eigenheiten von MaxonC++. Es ist nicht möglich, diese Namen umzudefinieren.

```
__LINE__
```

Das Makro `"__LINE__"` liefert jeweils die Zeilennummer, in der es benutzt wird, als dezimale „int"-Konstante. Entsprechend enthält

```
__FILE__
```

den Namen der aktuellen Quelltextdatei in Form eines Strings, z. B. so:

```
#include <stream.h>

void main()
{ cout « "Dies steht in Zeile " « __LINE__
  « " in der Datei " __FILE__ ".\n";
}
```

Man beachte, daß der Wert des Makros `"__FILE__"` eine konstante Zeichenkette ist und als solche natürlich auch mit davor oder dahinter stehenden Zeichenketten verbunden wird, so daß oben keinesweges zwei `"«"` vergessen wurden.

Praktisch sind auch die beiden Makros

```
__DATE__
```

und

```
__TIME__
```

die das Datum bzw. die Uhrzeit der Übersetzung angeben, und zwar vor allem dann, wenn man ein Programm mit einer eindeutigen Versionsangabe versehen will:

```
#include <stream.h>
```

```
void main()
{ cout « "Version 08.15/4711 vom " __DATE__ ", " __TIME__ " Uhr\n";
}
```

Das Datum wird dabei in der für uns Europäer etwas ungewohnten Form „Monat Tag Jahr", z. B. „Mar 08 1992", geliefert, während die Uhrzeit ganz normal in der Form „Stunden:Minuten:Sekunden" vorliegt.

Das Makro

```
__STDC__
```

liefert in allen zu ANSI C kompatiblen Implementierungen den numerischen Wert 1 und soll ermöglichen, festzustellen, ob ein Compiler diesem Standard genügt, denn andernfalls ist `"__STDC__"` nicht definiert. Eine Anwendung:

```
#ifndef __STDC__
#error Tut mir leid, dieses Programm braucht einen ANSI C Compiler
#endif
```

MaxonC++ nimmt sich die Freiheit, `"__STDC__"` sowohl im C- als auch im C++-Modus zu definieren, denn im wesentlichen ist C++ zu ANSI C abwärtskompatibel. Wie Sie sich denken können, ist `"__STDC__"` wie auch die vorhergehenden Makros Bestandteil des ANSI C-Standards, im Gegensatz zum folgenden:

```
__cplusplus
```

ist als leeres Makro definiert, und zwar nur bei C++-Compilern. Folglich ist es in MaxonC++ im ANSI-Modus unsichtbar, so daß man mit

```
#ifdef __cplusplus
```

leicht den aktuellen Modus testen kann. Dazu dient auch das folgende Makro, das es aber nur in MaxonC++ gibt:

```
__COMPMODE__
```

ist in MaxonC++ immer definiert, und zwar im C-Modus mit der `"int"`-Konstanten 0 und unter C++ mit 1. Außerdem möchte man oft auch noch gerne testen, um welchen Compiler (und ggf. welche Version) es sich handelt. Deshalb definiert MaxonC++ zusätzlich ein Makro namens

```
__MAXON__
```

das immer das zehnfache der Versionsnummer (z. B. 10 für Version 1.0) als ganzzahlige Konstante liefert:

```
#if !defined __MAXON__ || __MAXON__ < 10
#error Dieser Quelltext wurde für MaxonC++ ab V 1.0 geschrieben.
#endif
```

Die folgende Tabelle faßt noch einmal die Namen aller vordefinierten Symbole zusammen, einschließlich ihrer Werte und des Standards, durch den sie definiert sind:

`__LINE__`	ANSI C	Zeilennummer (int)
`__FILE__`	ANSI C	Dateiname (konstanter String)
`__DATE__`	ANSI C	Datum „Mmm tt jjjj" (konstanter String)
`__TIME__`	ANSI C	Uhrzeit „hh:mm:ss" (konstanter String)
`__STDC__`	ANSI C	1 __cplusplus C++ 2.0 (kein Wert)
`__COMPMODE__`	MaxonC++	0 im C-Modus / 1 im C++-Modus
`__MAXON__`	MaxonC++	Versionsnummer, z. B. 10

5.8 Arbeitsweise des Preprozessors

Der Preprozessor von MaxonC++ arbeitet in einem einzigen Schritt, ohne irgendwelche Zwischenergebnisse abzuspeichern, und gibt seine Ausgabe auch direkt an den Compiler weiter. Trotzdem kann man sich den Preprozessor logisch als eine Reihe unabhängiger Programme vorstellen, die nacheinander den Quelltext bearbeiten und an das jeweils nachfolgende Programm weitergeben. Diese logischen Phasen der Vor-Verarbeitung sind im einzelnen die folgenden:

1. Trigraph-Sequenzen (5.6.3) werden ersetzt.
2. Endet eine Zeile mit einem Backslash `"\"`, wird sie mit der jeweils nachfolgenden Zeile verbunden (5.6.1).
3. Der Programmtext wird in eine Folge von Token zerlegt, wobei Kommentare durch Leerzeichen ersetzt werden.
4. Preprozessor-Anweisungen aller Art werden ausgeführt.
5. Makros werden expandiert.
6. Aufeinanderfolgende konstante Zeichenketten werden verbunden (5.6.2).

Diese Reihenfolge logisch streng voneinaner getrennter Operationen hat einige Folgen, die die Leistungsfähigkeit des Preprozessors zwar teilweise mindern, aber andererseits seine Arbeitsweise überschaubarer machen. Zum Beispiel ist folgendes nicht erlaubt, da die Ausführung von Preprozessor-Anweisungen logisch vor der Makro-Ersetzung erfolgt:

```
#define INC #include

INC <stdio.h>
```

Es ist möglich, Zeilen mit der Trigraph-Sequenz `"??/"` statt `"\"` zu verbinden, aber andererseits nicht möglich, `"\"` als Bestandteil einer Makrodefinition zu verwenden, und die Liste solcher Mög-

lichkeiten und Einschränkungen ließe sich noch beliebig fortsetzen. Ich hoffe aber, daß ungefähr klar geworden ist, was es mit dieser logischen Reihenfolge auf sich hat.

Damit wäre die C- und C++-Sprachbeschreibung auch schon komplett. Das folgende Kapitel gibt noch Informationen zu einigen Aspekten der Amiga-Programmierung unter MaxonC++.

6. Was Sie als Amiga-Programmierer wissen sollten

6.1 Die Schnittstelle zum Betriebssystem

Maxon C++ wird mit den jeweils aktuellsten Amiga-Includedateien geliefert. Daran mußten nur geringfügige Modifikationen vorgenommen werden, da in diesen Dateien an einigen wenigen Stellen z. B. die C++-Wortsymbole `"class"` oder `"template"` als Bezeichner benutzt werden. Maxon C++ unterstützt Aufrufe von Betriebssystemfunktionen wahlweise über direkte Einsprünge via `"#pragma"` oder über "glue functions". Da letztere in der voluminösen "amiga.lib" stehen, empfehle ich die erste Methode.

Als kleine Besonderheit ist es nicht nötig, die folgenden Librarieszu öffnen:

Name der Library	Basisvariable
exec.library	SysBase
dos.library	DOSBase
diskfont.library	DiskFontBase
graphics.library	GfxBase
intuition.library	IntuitionBase

Die Exec-Library ist sowieso immer offen, DOS wird vom Startup-Code für die Standardein- und -ausgabe geöffnet, und wenn "GfxBase", "IntuitionBase" oder "DiskFontBase" im Programm referiert werden, bindet Maxon C++ automatisch Code ein, der diese Bibliotheken öffnet und am Programmende wieder schließt. Natürlich schadet es auch nicht, wenn ein Programm beides zusätzlich selbst macht.

6.2 Start von der Workbench

6.2.1 Die Do-It-Yourself-Methode: die Funktion "wbmain"

Es gibt bekanntlich zwei verschiedene Arten, auf dem Amiga ein Programm zu starten, nämlich vom CLI (bzw. einer Shell) aus oder von der Workbench. Offensichtlich unterscheiden diese beiden Arten sich erheblich:

- Zu jeder Shell gehört ein Text-Fenster, in das ein Programm Ausgaben machen und aus dem es Eingaben lesen kann. Dieses Fenster entspricht in C++ der Standardein- und -ausgabe. Dagegen gibt es beim Start von der Workbench zunächst kein solches Fenster, so daß auch die Standard-I/O-Kanäle undefiniert sind.

- Beim Shell-Start werden dem Programm Argumente in der Kommandozeile übergeben und stehen über `"argc"` und `"argv"` direkt zur Verfügung, während ein von der Workbench gestartetes Programm Argumente in Form aktivierter Icons (und ihrer "Tool Types") besitzt.

Daraus folgt natürlich, daß beide Arten des Programmstarts ganz unterschiedlich gehandhabt werden müssen. Der Startup-Code von MaxonC++ prüft zunächst, ob das Programm von der Workbench oder vom CLI aufgerufen wurde. Beim CLI-Start springt es wie gewohnt in die Funktion `"main"` ein, während im Falle eines Starts von der Workbench eine Funktion namens `"wbmain"` aufgerufen wird.

Moment mal, Sie haben doch bisher nie eine Funktion dieses Namens definiert? Das macht nichts, denn wenn der Linker kein `"wbmain"` findet, nimmt er eben das vordefinierte aus den Libraries, und diese Funktion macht überhaupt nichts. Also terminiert ein Programm ohne eigenes `"wbmain"` sofort, wenn es von der Workbench gestartet wird.

Um ein Programm also von der Workbench aufrufbar zu machen, muß man eine eigene `"wbmain"`-Funktion deklarieren, und zwar im C-Linkmodus, da der Linker ein Symbol namens `"_wbmain"` erwartet. Als Parameter kann man optional einen Zeiger auf die Startup-Message (deren Typ `"struct WBStartup"` in *<workbench/startup.h>* definiert ist) deklarieren. In C sieht der Prototyp also folgendermaßen aus:

```
void wbmain(struct WBStartup *ws)
```

...und in C++ so:

```
extern "C" void wbmain(WBStartup *ws)
```

Diese Startup-Message enthält einige interessante Informationen, insbesondere den Zähler `"sm_NumArgs"`, der die Anzahl der aktivierten Icons angibt, und den Zeiger `"sm_ArgList"`, der auf einen entsprechend großen Vektor des Typs `"struct WBArg"` verweist.

Jedes `"WBArg"`-Element enthält den Namen der Datei (`"wa_Name"`) sowie ein Lock auf das Verzeichnis (`"wa_Lock"`), in dem die jeweilige Datei liegt. Um eine der Dateien zu öffnen, muß man also erst ihr Verzeichnis zum aktuellen Directory machen.

`"sm_NumArgs"` ist immer mindestens 1, und das erste (oder besser gesagt "nullte") Element des Vektors `"sm_ArgList"` repräsentiert Name und Verzeichnis des Programms selbst.

Die `"wbmain"`-Funktion muß (und darf) übrigens die Startup-Message nicht beantworten - das erledigt der Startup-Code von MaxonC++ am Programmende selbst.

Das folgende Programm demonstriert einen typischen Programmstart auf dem Amiga einschließlich Auswertung der Argumente:

```
#include <clib/exec_protos.h>
#include <clib/intuition_protos.h>
#include <workbench/startup.h>
#include <stdlib.h>
```

```
#define WW 640          // Fensterbreite
#define WH 200          // Fensterhöhe

NewWindow mynewwin =
 { 0, 0, WW, WH, 2, 1, CLOSEWINDOW,
   ACTIVATE | WINDOWSIZING | WINDOWDRAG | WINDOWDEPTH | WINDOWCLOSE,
   NULL, NULL, "Startup-Demo", NULL, NULL,
   100, 50, 640, 200, WBENCHSCREEN};

struct Window* mywin = 0;


void FensterOeffnen()
 // öffnet ein Fenster und bricht ab, falls das nicht klappt
 {
   mywin = OpenWindow(&mynewwin);
   if (!mywin) exit(1000);
 }


void WartenUndSchliessen()
 {
   // Auf Benutzer-Aktion, insbesondere Close-Gadget, warten:
   WaitPort(mywin->UserPort);

   // Fenster schlie·en:
   CloseWindow(mywin);
 }


void TextAusgabe(char *string, int x, int y)
 // String an Pixel-Position x/y ausgeben
 {
   IntuiText it = { 1, 0,          // FrontPen, BackPen
                    JAM1,          // DrawMode
                    0, 0,          // Offset x/y
                    NULL,          // Font
                    string,        // Text
                    NULL };        // Next
   PrintIText(mywin->RPort, &it, x, y);
 }


// ***** Shell-Start:

void main(int argc, char **argv)
 { int i;

   FensterOeffnen();

   TextAusgabe("Start vom CLI", 10, 20);
   for(i=0; i<=argc; i++)
```

```
    TextAusgabe( argv[i], 20, 30+9*i );

  WartenUndSchliessen();
 }


// ***** Start von der Workbench:

#ifdef __cplusplus
 #define LINKAGE_C extern "C"
#else
 #define LINKAGE_C
#endif

LINKAGE_C void wbmain(struct WBStartup *ws)
 { int i;

   FensterOeffnen();

   TextAusgabe("Start von der Workbench", 10, 20);
   for(i=0; i < ws->sm_NumArgs; ++i)
     TextAusgabe( ws->sm_ArgList[i].wa_Name, 20, 30+9*i );

   WartenUndSchliessen();
 }
```

6.2.2 Die einfache Methode: die Datei "wbstartup.h"

Es wurde eingewendet, daß es ziemlich mühsam ist, alles wie oben beschrieben selbst zu implementieren. Außerdem hat man auf diese Weise noch lange kein normales Textwindow für die Standard-Ein- und Ausgabe. Deshalb gibt es die Includedatei "*<wbstartup.h>*" und die Bibliotheksfunktion `"wbparse"`, durch die alles viel einfacher und sicherer wird.

Alles, was Sie tun müssen, ist, in eine Übersetzungeinheit Ihres Programms folgende Zeile aufzunehmen:

```
#include <wbstartup.h>
```

In jener Datei steht eine vollständige `"wbmain"`-Funktion, die wiederum eine Bibliotheksfunktion namens `"wbparse"` aufruft:

```
extern "C" void wbmain(struct WBStartup *w)
{ wbparse(w); }
```

Die Funktion `"wbparse"` macht nun folgendes: Die Workbench-Argumente aus der Startup-Message werden ausgewertet, und daraus wird ein Argumentstring-Vektor erzeugt. Mit diesen Argumenten wird dann in die `"main"`-Funktion des Programms eingesprungen. `"argv[0]"` zeigt dann also auf den Programmnamen und `"argv[1]"` bis `"argv[argc-1]"` auf die Dateinamen der aktivier-

ten Icons. Zuvor wird noch in das Verzeichnis gewechselt, in dem das erste Argument (also das Programm selbst) steht.

Wichtig

Wenn Sie "*wbparse*" bzw. "*wbstartup.h*" benutzen und in C++ programmieren, muß Ihr Hauptprogramm auch Argumente übernehmen.

```
main(int argc, char *argv[])
```

deklariert sein, sonst geht die Sache in die Hose (im C-Modus gibt es da keinen Unterschied).

Nun wäre es ganz angenehm, wenn ihr Programm unterscheiden könnte, ob es von Workbench oder CLI gestartet wurde. Dafür wird in "*wbstartup.h*" folgende Variable deklariert:

```
unsigned short _wbflag;
```

`"wbmain"` setzt diese Variable auf 1, so daß Ihr Programm einfach mit

```
if (_wbflag)
  von Workbench
else
  vom CLI
```

prüfen kann, wie es gestartet wurde.

So weit, so gut - aber wenn Ihr Programm die Standard-Ein-/Ausgabe benutzt (sei es nun mit `"cout"/"cin"` oder `"printf"/"scanf"`), fehlt immer noch ein Fenster dafür. Falls Sie ein solches wünschen, setzen Sie einfach VOR das `"include <wbstartup.h>"` eine Deklaration wie die folgende:

```
#define WBWINNAME "con:0/10/640/120/Demo"
```

Das Gerät "CON:" entspricht einem gewöhnlichen Textwindow, wie es auch das CLI bzw. eine Shell benutzt. Die dahinterstehenden Argumente geben (in dieser Reihenfolge) die X- und Y-Koordinate, die Breite, Höhe sowie den Titel des Windows an. Mit der obigen Deklaration wird also auf dem Workbench-Screen am linken Bildschirmrand und mit 10 Punkten Abstand vom oberen Rand ein Fenster namens "Demo" geöffnet, das 640 Punkte breit und 120 Punkte hoch ist. Beachten Sie bitte, daß unser `"wbmain"` aussteigt, wenn dieses Window nicht geöffnet werden kann, und daß nur eine Bildschirmgröße von 640 mal 200 Punkten (das entspricht dem HIRES-Noninterlaced-Modus auf NTSC-Rechnern ohne jeden Overscan) garantiert wird.

Die `"wbmain"`-Funktion öffnet also, wenn eine solche Deklaration vorliegt, eine entsprechende Datei und leitet Ein- und Ausgabe darauf um:

```
#ifdef WBWINNAME
// Ausgabe in Window umleiten:
if(!freopen(WBWINNAME, "w", stdout))
```

```
  return;
  // Eingabe aus selbem Window:
stdin->Filehandle = stdout->Filehandle;  // THIS ASSIGNMENT WAS
  // MADE BY TRAINED EXPERTS. DO NOT TRY THIS AT HOME!
#endif
```

Das Umleiten von **"stdout"** mit der ANSI-C-Funktion **"freopen"** ist standardmäßig und sicher. Anschließend wird aber ein ziemlich verwegener MaxonC++-Trick angewendet, um **"stdin"** dieselbe Datei zuzuweisen, indem mit Hilfe der Definitionen aus **"<streamdefs.h>"** die DOS-Filehandle manipuliert wird. Dies sollten Sie nur machen, wenn sie mit **"streamdefs.h"** vertraut sind und wissen, was sie tun.

Zu guter letzt folgt hier ein voll shell- und workbenchtaugliches Programm, das seine Argumente ausgibt. Beim WB-Start gibt es dem Benutzer (sofern man bei einem solchen Prograämmchen überhaupt von "benutzen" reden kann) Gelegenheit, die Ausgabe in Ruhe zu lesen, indem es am Ende wartet, bis <Return> gedrückt wird, denn das Ausgabefenster wird am Programmende automatisch sofort geschlossen.

```
#define WBWINNAME "con:0/10/640/120/Demo"
#include <wbstartup.h>
#include <stdio.h>

void main(int argc, char *argv[])
{
  for (int i = 0; i<argc; ++i)        // entweder Shell-Parameter
  printf("%2d : %s\n", i, argv[i]); // oder selektierte Icons

  if (_wbflag)    // diese Variable enthält ein Flag, das angibt,
  {               // ob das Proggi von der Workbench gestartet wurde
    printf("[CR] drücken: ");
    getchar();
  }
  exit(0);
}
```

7. Templates

7.1 Einführung

Templates sind die wohl wichtigste Neuerung des 3.0-Standards. Dabei handelt es sich um Schablonen, aus denen der Compiler selbstständig Klassen und Funktionen erzeugen kann.

In Abschnitt 3.4 wurde gezeigt, wie man aus einem allgemeinen Listentyp durch Ableitung Listen spezieller Elementtypen erzeugen kann. Dieser Weg ist zwar gangbar, aber doch ziemlich umständlich - man denke dabei an die virtuellen Funktionen, die man beim Ableiten immer wieder von Hand definieren muß. Viel einfacher wäre es doch, wenn man diesen Vorgang so weit automatisieren könnte, daß der Compiler letzten Endes selbst aus Beschreibungen wie `"Liste<int>"` oder `"Liste<Eintrag>"` entsprchende neue Klassen generieren kann - und genau das geht mit Klassen-Templates.

Die Bibliotheksfunktion `"qsort"` sortiert Vektoren beliebiger Elemente. Ihre Benutzung ist aber relativ umständlich, da man immer zuerst eine Vergleichsfunktion definieren und zu allem überfluß auch noch die Größe der Elemente angeben muß. Es wäre erheblich einfacher, wenn man eine Sortierfunktion mit mehr oder weniger beliebigen Argumenten aufrufen könnte und der Compiler dann selbsttätig die benötigten Funktionen erzeugen würde. Auch so etwas ist möglich, und zwar mit Funktions-Templates.

Zuerst befassen wir uns aber mit Klassen-Templates:

7.2 Klassen-Templates

7.2.1 Ein einfaches Beispiel

Klassen-Templates sind immer dann besonders nützlich, wenn man sogenannte Container-Typen definieren möchte. Das sind Klassen wie z. B. Listen, Arrays, Suchbäume oder Mengen, die Daten anderer Typen als Elemente enthalten und die man gerne so allgemein definieren möchte, daß diese Elemente nahezu beliebige Typen haben können.

Als einfaches Beispiel soll hier zuerst ein Vektor-Template implementiert werden. Wie Sie bisher sicher schon gemerkt haben, ist das von C ererbte Vektorkonzept von C++ nicht immer der Weisheit letzter Schluß. Die folgende, ganz konventionell programmierte Klasse implementiert einen `"int"`-Vektor mit 20 Elementen und der kleinen Besonderheit, daß der Index-Wertebereich von 1 bis 20 geht und zur Laufzeit überprüft wird:

```
class IntVec20
{
  int vec[20];
public:
  int &operator[](int i)
    { if (i >= 1 && i <= 20)
```

```
        return vec[i-1];
      else
        exit(-1);
    }
};

IntVec20 v1;
```

So weit, so gut. Das Problem bei der Sache ist aber, daß wir alles nahezu unverändert noch mal eintippen müssen, wenn wir einen Vektor von 50 "double"-Werten haben. Solcherlei Mühe ersparen wir uns fortan, indem wir hier einfach ein Template definieren:

```
template<class T, int anz> class Vector
{
  T vec[anz];
 public:
  T &operator[](int i)
    { if (i >= 1 && i <= anz)
        return vec[i-1];
      else
        exit(-1);
    }
};

Vector<int,20> v1;
Vector<double,50> v2;
```

Offensichtlich beginnt eine Template-Deklaration also mit dem neuen Schlüsselwort **"template"**. Dahinter folgt, in spitzen Klammern, die in C++ bisher noch nicht aufgetreten sind, eine Art Parameterliste. In einer solchen Liste kann es zwei Arten von Parametern geben:

- Typ-Parameter (**"class T"**) werden stets durch das Schlüsselwort **"class"**, gefolgt von einem einfachen Bezeichner, dargestellt. Wird das Template später benutzt, ist an dieser Stelle eine Typbeschreibung anzugeben. Man beachte, daß es sich bei dem Argument später keineswegs zwingend um eine Klasse handeln muß - im obigen Beispiel werden z. B. **"int"** und **"double"** übergeben. Das Schlüsselwort **"class"** wird hier also lediglich benutzt um anzuzeigen, daß es sich um einen Typparameter handelt.
- Wert-Parameter (**"int anz"**) sehen wie Parameter einer Funktion aus. Wird das Template benutzt, ist hier ein konstanter Ausdruck einzusetzen.

Hinter der Parameterliste folgt eine ganz normale Klassendefinition, bei der man einfach so tut, als seien die Parameter als Typ bzw. Konstanten definiert. Anstelle einer **"class"** können Sie hier auch eine **"struct"** oder **"union"** definieren.

Nachdem Sie auf diese Weise ein Template namens `"Vector"` definiert haben, können Sie es benutzen: Der Template-Name, gefolgt von einer Argumentliste, kann wie ein ganz normaler Typ- oder Klassenname benutzt werden, z. B. auch so:

```
Vector<char*,100> *vptr;

typedef Vector<int,20> IntVec20;

Vector<Vector<double,10>,10> dvecvec;
```

Im letzten Beispiel wurde das Template sogar als sein eigenes Argument benutzt, um einen Vektor von Vektoren zu erhalten. Templates stehen also absolut gleichberechtigt neben "normalen" Datentypen.

7.2.2 Deklarationen und Definitionen

Es ist einmal wieder an der Zeit, auf einigen Formalismen herumzureiten. Zunächst sollte erwähnt werden, daß Templates grundsätzlich nur auf Dateiebene und somit nicht lokal zu Klassen oder Funktionen definiert werden dürfen:

```
struct S {
  template <class T> class Valsch ... // ERROR!
```

Die Template-Namen liegen im globalen Namens-Scope, zusammen mit Namen von Funktionen und Variablen. Es ist auch nicht erlaubt, einen Templatenamen wie einen Funktionsnamen zu überladen:

```
template <class t>          class Tpl { };
template <class u,class v> class Tpl { };  // ERROR!
```

Bekanntlich ist es möglich (und wird auch oft praktiziert), eine Klasse zuerst nur zu deklarieren (z. B. `"class C;"`) und erst später wirklich zu definieren (`"class C { ...};"`). In der Zwischenzeit darf man z. B. Zeiger oder Referenzen auf `"C"` benutzen, aber z. B. kein Objekt dieser Klasse definieren. Ganz analog verhält es sich mit Definiton und Deklaration von Klassen-Templates:

```
template <class T> class C;     // Template-Deklaration

C<int> *cip;              // OK
typedef C<int> cit;       // OK
C<int> ci;                // ERROR: Data type undefined

template <class T> class C      // Template-Definition
{ public:
   T t1, t2; };

C<int> cj;                // OK
```

Zwischendurch ein Hinweis zur Nomenklatur: Eine Template-Definition wie

```
template <class T, int j> class C ...
```

definiert ein Klassen-Template `"C"`. Wenn wir später das Template benutzen, um eine neue Klasse zu erhalten, z. B.

```
C<int,42>,
```

dann nennt man das Ergebnis eine Template-Klasse.

Template-Klassen sind identisch, wenn ihre Argumente übereinstimmen. Beispiel:

```
template <class T, int j> class C;

typedef C<int,   42>   ctype;
typedef C<signed,2*21> ctype;  // OK, Typen identisch
typedef C<long,  41+1> ctype;  // ERROR, anderer Typ
```

Konstruktoren und Destruktoren von Template-Klassen heißen wie die Templates:

```
template <class T> class C
{  T t1;
 public:
   C(T);
   ~C();
};
```

Während der Definition eines Klassen-Templates ist der Templatename (im folgenden Beispiel wieder einmal `"C"`) identisch mit der jeweiligen Template-Klasse, kann aber trotzdem noch zur Erzeugung anderer Template-Klassen benutzt werden:

```
template <class T> class C
{
 public:
   C      *next;      // Zeiger auf selbe Klasse
   C<T>   *tptr;      // so geht's auch
   C<int> *iptr;      // ...aber so etwas geht auch.
};
```

Natürlich können Klassen-Templates auch abgeleitet werden, gleichermaßen von irgendwelchen konstanten Klassen oder ihren Argumenten:

```
class Base1
{
  // ...
};

template<class Base2> class Derived
  : public Base1, public Base2
{
  // ...
};
```

Zu guter letzt sei noch darauf hingewiesen, daß von MaxonC++ Template-Definitionen zunächst nur sehr flüchtig Syntax-gecheckt werden. Erst wenn das Template benutzt, d. h. eine Template-Klasse

erzeugt wird, wird das Template mit den eingesetzten Argumenten compiliert. Also hat der Compiler zunächst keinerlei Probleme mit Definitionen wie der folgenden:

```
template <int i> class Murx
  { Alles voll daneben, ey! };
```

Erst wenn später ein Typ wie `"Murx<17>"` benutzt wird, werden die zahlreichen Fehler gemeldet. Deshalb sollten Sie sich auch nicht wundern, wenn in einem Programm, das Templates enthält, die Fehler nicht in ihrer "natürlichen" Reihenfolge (strikt nach Zeilennummern geordnet) ausgegeben werden, sondern gerade so, wie der Compiler sie findet.

7.2.3 Member-Funktionen

Wie bei jeder Klasse können Sie auch bei Klassen-Templates Member-Funktionen direkt in der Klassendefinition definieren - aber dann gelten Sie natürlich automatisch als `"inline"`, was ja nicht immer wünschenswert ist. Will man eine Funktion außerhalb des Templates definieren, wählt man die bisher von Memberfunktionen bekannte Schreibweise - nur daß bei den qualifizierten Bezeichnern als Klassenname hier der Templatename samt Parameterliste zu wählen ist:

```
template <class T> class C1
{ public:
    void f(int);
    T g(const T&);
    C1(T);
};

template <class T> void C1<T>::f(int i)
{
  // ...
}

template <class typ> typ C1<typ>::g(const typ&)
{
  // ...
}

template <class T> C1<T>::C1(T t)
{
  // ...
}
```

Wie Sie anhand der Definition von `"g"` erkennen können, müssen die Argumentnamen nicht zwangsläufig mit der ursprünglichen Definition übereinstimmen.

Es ist allerdings auch erlaubt, Funktionen für konkrete Klassen speziell zu definieren:

```
#include <iostream.h>

template <class T> struct S
{ T t1;
```

```
  void f(); };

template <class T> void S<T>::f()
{ cout << "Class: " << sizeof(T) << "\n"; }

void S<char>::f()
{ cout << "Spezial-Funktion für CHAR\n"; }

S<int> s1;
S<char> s2;
S<double> s3;

void main()
{
  s1.f();  // normale Template-Funktion
  s2.f();  // spezielle Funktion
  s3.f();  // normale Template-Funktion
}
```

Für die Klasse `"S<char>"` wurde hier eine Funktion `"f"` definiert, was Vorrang vor der allgemeinen Funktionsdefinition des Templates hat, welche der Compiler für alle anderen Template-Klassen verwendet.

7.2.4 Statische Member

Sie erinnern sich: ein statischer Member einer Klasse wird (naheliegenderweise) mit der Speicherklasse `"static"` deklariert und existiert dann genau einmal für alle Objekte der Klasse zusammen.

Damit dieser Member aber auch noch tatsächlich irgendwo real existiert und vom Linker gefunden werden kann, muß er in genau einer übersetzungseinheit des Programms auch noch definiert werden.

Auch Template-Klassen dürfen statische Member besitzen. Beispiel:

```
template <class T> class C
{       T t2;     // gewöhnlicher Member
  static T t1;    // statischer Member
};

C<int> ci;
C<char> cj;

int C<int>::t1 = 42;
```

Für jede einzelne Templateklasse (und nicht etwa gemeinsam für alle Klassen eines Templates) wird ein statischer Member erzeugt, also eine char-Variable für `"C<char>"` und eine int-Variable für `"C<int>"`. Der kleine Unterschied zu statischen Membern in "gewöhnlichen" Klassen ist, daß die Member nicht explizit definiert werden müssen. Im obigen Programm existiert die char-Variable `"C<char>::t1"` also tatsächlich. Auf Wunsch kann der Programmierer diese Member aber auch

explizit definieren, wie es oben bei `"C<int>::t1"` geschehen ist. Dabei kann man dann optional auch in gewohnter Weise eine Initialisierung vornehmen.

Falls es für einen statischen Member einer Templateklasse aber keinen Default-Initialisierungswert bzw. -Konstruktor gibt, wird der Member nicht automatisch erzeugt und muß folglich irgendwo explizit definiert werden. Stellen Sie sich im obigen Beispiel z. B. eine Templateklasse `"C<int&>"` vor. Der statische Member `"t1"` hätte dann folgerichtig den Referenztyp `"int&"`, für den immer eine Initialisierung erforderlich ist. Die Variable `"int &C<int&>::t1"` ist folglich explizit zu definieren.

7.2.5 Friends

Bei allem, was mit Friend-Deklarationen oder sonstwie mit Zugriffsrechten zu tun hat, sollten Sie sich immer vor Augen halten, daß Templates nicht viel anderes sind als Makros, in denen Argumente textuell ersetzt werden.

Die Friend-Funktionen einer Templateklasse sind nicht automatisch Templatefunktionen (die werden in diesem Handbuch sowieso erst später behandelt). Beispiel:

```
template <class T> class C
{
  friend char *f1(char *str);
  friend void  f2(const C<T> &c);
};
```

Hier gibt es genau eine Funktion namens `"f1"`, die Friend sämtlicher Templateklassen des Templates `"C"` ist. Außerdem gibt zu jeder einzelnen Templateklasse eine eigene Funktion namens `"f2"`, die als Argument eine Referenz auf eben jene Klasse besitzt. Für `"f2"` wird man dann sinnvollerweise ein Funktionstemplate einführen, denn andernfalls müßte man ja alle diese Funktionen von Hand definieren.

Wenn eine gewöhnliche Klasse Friend einer Templateklasse wird, gibt es nichts besonders Aufregendes zu beachten. Wenn jedoch eine andersrum eine Templateklasse Friend werden soll, ist wieder einmal der Unterschied zwischen Templateklasse und Klassentemplate zu beachten:

```
template <class T> class Freund
{
  // Inhalt interessiert nicht
};

class Normal
{
  friend class Freund<char*>;   // OK
  friend class Freund;          // ERROR
};

template <class S> class Temp
{
  friend class Freund<S>;       // OK
```

```
  friend class Freund;          // ERROR
};
```

In beiden Fällen ist es nicht möglich, einem ganzen Klassentemplate kollektiv die Freundschaft anzubieten, sondern nur einer ganz bestimmten, einzelnen Templateklasse.

7.3 Funktions-Templates

7.3.1 Beispiel: Sortieren von Vektoren

Bei den bisher beschriebenen Klassentemplates werden auch Memberfunktionen über Templates generiert. Es gibt allerdings auch die Möglichkeit. globale Funktionen (also solche auf Dateiebene) über sogenannte Funktionstemplates erzeugen zu lassen.

Als Beispiel für ein Funktionstemplate sehen wir uns die folgende (zugegebenermaßen nicht besonders effektive) Sortierfunktion an:

```
template <class T> void bubblesort(T *vec, int size)
{
  for (int i = size-1; i>0; --i)
    for (int j = 0; j < i; ++j)
      if (vec[j] > vec[j+1])
        { // benachbarte Elemente vertauschen:
          T hilf    = vec[j];
          vec[j]    = vec[j+1];
          vec[j+1] = hilf;
        }
}
```

Auf diese Weise können wir nahezu beliebige Vektoren sortieren lassen - vorausgesetzt, der Vergleichsoperator `">"` ist auf den Vektorelementen sinnvoll definiert:

```
#include <stream.h>

// Beispieldaten:
int iv[] = { 17, 4, 21, 26, 7, 31, 47, 11, 0, 8, 15 };
char cv[] = { 'c', 'a', 'd', 'i', 'l', 'l', 'a', 'c' };
char *sv[] = { "Steck", "deinen", "Kopf", "in", "ein", "Schwein" };

void main()
{
  int i;

  bubblesort(iv, 11);
  bubblesort(cv, 8);
  bubblesort(sv, 6);

  for (i=0; i<11; ++i)
    cout << iv[i] << " ";
  cout << "\n\n";
```

```
  for (i=0; i<8; ++i)
    cout << cv[i] << " ";
  cout << "\n\n";

  for (i=0; i<6; ++i)
    cout << sv[i] << " ";
  cout << "\n\n";
}
```

7.3.2 Deklaration und Definition

Jedes Funktionstemplate kann, genau wie ein Klassentemplate, beliebig oft deklariert werden, also z. B. in dieser Art:

```
template <class T> void bubblesort(T *vec, int size);
```

Damit wird dem Compiler die Existenz eines solchen Templates bekannt gemacht. Außerdem muß es im Programm genau eine Definition (also einen Anweisungsteil für die Funktion) zu jedem deklarierten Template geben.

Bei den Template-Argumenten eines Funktionstemplates muß es sich um Typargumente handeln. Die folgende Deklaration ist also fehlerhaft:

```
template <class T, int size> void nocheinsort(T vec[size]);
```

Bei Klassentemplates werden die Argumentwerte bekanntlich explizit angegeben, während der Compiler die Argumenttypen eines Funktionstemplates aus den Argumenten des Funktionsaufrufs herausklauben muß. Deshalb muß jedes Templateargument auch in der Parameterliste auftauchen:

```
template <class A, class B, class C> A fun(B b)  // ERROR
  { C c1 = b;
    return 2*c1
  }
```

Aus einem Aufruf wie `"fun(42)"` kann der Compiler hier nicht erkennen, mit welche Typen die Argumente `"A"` und `"C"` belegt werden sollen. Deshalb ist dieses Funktionstemplate unzulässig.

7.3.3 Handgestrickt kontra compilergeneriert

Templates haben kein Exklusivrecht an ihrem Namen. Der Programmierer kann einem Funktionstemplate beliebig viele Funktionen des gleichen Namens hinzufügen.

Als Beispiel nehmen wir das Bubblesort-Template aus 7.3.1 noch einmal unter die Lupe. Dieses Template ist nur sinnvoll, wenn der Operator `">"` auf dem Argumenttyp passend definiert ist. Auf Klassen ist dies z. B. nicht der Fall (man kann aber `">"` entsprechend überladen) , und bei `"char*"` vergleicht `">"` die Speicheradressen der Zeichenketten, was meist nicht das Gewünschte ist. Wir verbessern das Programm deshalb folgendermaßen:

```
template <class T> inline int greater(const T &t1, const T &t2)
  { return t1 > t2; }

template <class T> void bubblesort(T *vec, int size)
{
  for (int i = size-1; i>0; --i)
    for (int j = 0; j < i; ++j)
      if (greater(vec[j], vec[j+1]))
        { // benachbarte Elemente vertauschen:
          T hilf    = vec[j];
          vec[j]    = vec[j+1];
          vec[j+1] = hilf;
        }
}
```

Der Vergleichoperator `">"` ist hier also durch eine ominöse Funktion `"greater"` ersetzt worden. Im allgemeinen Fall wird `"greater"` durch ein Template erzeugt. Wnn man aber auf bestimmten Typen spezielle Vergleiche realisieren möchte, kann man eine maßgeschneiderte Vergleichsfunktion hinzudefinieren:

```
#include <stream.h>
#include <string.h>

inline int greater(char *s1, char *s2)
  // spezielle Vergleichsfunktion für Zeichenketten:
  { return stricmp(s1,s2) > 0; }

// Beispieldaten:
int iv[] = { 17, 4, 21, 26, 7, 31, 47, 11, 0, 8, 15 };
char *sv[] = { "Steck", "deinen", "Kopf", "in", "ein", "Schwein" };

void main()
{
  int i;

  bubblesort(iv, 11);
  bubblesort(sv, 6);

  for (i=0; i<11; ++i)
    cout << iv[i] << " ";
  cout << "\n\n";

  for (i=0; i<6; ++i)
    cout << sv[i] << " ";
  cout << "\n\n";
}
```

Hier wird für Zeichenketten eine sinnvoller, alphabetische Vergleichsoperation eingeführt, während für den `"int"`-Vektor der aus dem Template `"greater"` erzeugte Standardvergleich benutzt wird.

Damit wären wir bei der Frage gelandet, wann in C++ eine Templatefunktion generiert und wann eine halbwegs passende "echte" Funktion benutzt wird, und somit wird es höchste Zeit für das folgende Kapitel:

7.3.4 Argumemt-Matching beim Aufruf von Templatefunktionen

7.3.4.1 Benutzung von Funktionstemplates

In Abschnitt 4.1.2.2 wurde das genaue Verfahren beschrieben, nach dem C++ beim Aufruf eines überladenen Funktionsnamens feststellt, welche Funktion aufgerufen werden soll. Dieses Verfahren war zugegebenermaßen reichlich kompliziert. Nun stehen wir aber vor einer noch etwas unübersichtlicheren Situaton: Wir haben es unter Umständen nicht nur mit einem (beliebig überladenen) Funktionsnamen zu tun, sondern können mit Hilfe eines Templates noch unendlich viele Funktionen des gleichen Namens hinzufügen. Aber keine Angst: theoretisch wird es nicht viel schwieriger als bisher, und praktisch gesehen werden Sie beim Programmieren recht wenig beachten müssen.

Zunächst betrachetn wir einmal den etwas einfacheren und nichtsdestotrotz wichtigen Fall, daß wir nur ein Template und keine explizit deklarierten Funktionen vor uns haben. Unter welchen Bedingungen kann eigentlich eine Templatefunktion zu einem Funktionsaufruf generiert werden?

Das ist, kurz gesagt, nur möglich, wenn die Typen der Argumente exakt mit denen der Parameterliste übereinstimmen bzw. durch geeignete Belegung der Templateargumente übereinstimmend gemacht werden können. Dabei sind allenfalls triviale Konvertierungen (siehe 4.1.2.1) wie `"T[] -> T*"` oder `"T -> const T"` zulässig:

```
template <class T> void f1 (T t1, T t2);

void test()
{
  f1(17, 4);      // OK
  f1(17, 4.0);    // Error: Arguments do not match function template
}
```

In diesem Beispiel ist der erste Funktionsaufruf offensichtlich richtig, während beim zweiten nicht klar ist, ob das Templateargument `"T"` nun `"int"` oder `"double"` sein soll. Theoretisch könnte der Compiler auf Nummer sicher gehen und sich für `"double"` entscheiden. Solche überlegungen sind vom C++-Sprachstandard aber nicht vorgesehen. Es wird exakte übereinstimmung der Argumenttypen mit den Parametern des Funktionstemplates erwartet, und `"int"` ist mit `"double"` nun einmal nicht annähernd identisch.

Durch diese Regel kann es zu unerwarteten Effekten kommen:

```
template <class T> void f2 (T *vect, unsigned size);

void test()
{
  char v[] = { 'h', 'a', 'l', 'l', 'o' };

  f2(v, 5);      // ERROR
  f2(v, 5U);     // OK
}
```

Beim ersten Versuch stimmt der Typ (`"int"`) des zweiten Arguments (also der `"5"`) nicht exakt mit dem Typ des Parameters `"size"` überein. Das Dogma von der exakten Typgleichheit gilt also auch für solche Parameter, deren Typen sozusagen `"konstant"` sind und nichts mit irgendwelchen Templateargumenten zu schaffen haben.

7.3.4.2 Mischung von Funktiontemplates und "echten" Funktionen

Im Beispielprogramm aus 7.3.3 wurden bereits Funktionstemplates mit explizit deklarierten Funktionen gleichen Namens gemischt. Wenn eine solche Funktion aufgerufen wird, wird nach dem folgenden Verfahren die passende Funktion bzw. Templatefunktion ermittelt:

1. Es wird nach einer (explizit deklarierten) Funktion gesucht, deren Parameter exakt mit den aktuellen Argumenten übereinstimmen. Triviale Konvertierungen sind dabei großzügigerweise erlaubt.
2. Wird keine geeignete Funktion gefunden, so wird versucht, eine Templatefunktion zu erzeugen. Auch hierbei ist naturgemäß exakte Typgleichheit Pflicht.
3. Wenn die beiden ersten Versuche fehlgeschlagen sind, wird mit den Funktionen (also den explizit deklarierten) ein ganz normales Argument-Matching wie in 4.1.2.2 durchgeführt.
4. Hilft das alles nichts, ist der Funktionsaufruf ein Fehler.

In den Schritten (1) und (3) kann sich herausstellen, daß der Funktionsaufruf mehrdeutig ist. Die Generierung einer Templatefunktion ist hingegen immer eine eindeutigt Angelegenheit.

Apropos eindeutig: Sie können die Verpflichtung zur Exaktheit umgehen, indem Sie hemmungslos Funktionen hinzudefinieren:

```
template <class T> void f1 (T t1, T t2);

void f1(double, double);

void test()
{
  f1(17, 4);      // OK, f1(int,int)
  f1(17, 4.0);    // Jetzt auch O.K., f1(double,double)
}
```

Der zweite Funktionsaufruf ist jetzt korrekt, weil nach Schritt (3) des Auflösungsalgorithmus ganz konventionell mit `"f1(double,double)"` gematcht werden kann. übrigens verpflichtet diese Deklaration Sie keineswegs, die deklarierte Funktion auch selbst zu definieren: Da die Funktionsdeklaration zum Template paßt, greift hier der Compiler bei Bedarf ein.

7.3.5 Generierung von Templatefunktionen

Bei den bisher betrachteten kleinen Beispielen war es für den Compiler (und erst recht für den Programmierer) noch eindeutig, welche Templatefunktionen generiert werden müssen. Wenn das Programm aber aus mehreren übersetzungseinheiten (Modulen) besteht, ist dies nicht mehr so einfach.

MaxonC++ kann dabei prinzipiell zwei verschiedene Strategien verfolgen und überläßt Ihnen die Auswahl. Beachten Sie dazu bitte auch Abschnitt 2.5.2.6.10 im MaxonC++ Anwenderhandbuch.

Letzten Endes geht es dabei lediglich um Funktionstemplates wie

```
template <class T> T f1(T t1)
  { return t1+1; }

template <class T> void f2(T t1)
  { Jawollja! }
```

Aus dem ersten Template kann nur dann eine Templatefunktion erzeugt werden, wenn das Argument numerisch oder ein Pointer ist (oder meinetwegen auch eine Klasse, auf der `"+"` überladen ist). Aus dem Template `"f2"` kann offensichtlich niemals eine korrekte Funktion generiert werden.

MaxonC++ erzeugt in jeder übersetzungseinheit alle Templatefunktionen, die dort benutzt oder deklariert, aber nicht schon vom Programmierer definiert wurden. Dabei können natürlich unnötige Funktionen generiert werden, zu denen es in einem anderen Modul schon eine explizite Definition gibt. Das ist an und für sich nicht so schlimm, da der Linker solchen Ballast später wieder herauswirft. Problematisch wird es aber, wenn in einer Templatefunktion ein Fehler auftritt.

Es liegt nun an Ihnen, wie der Compiler in einer solchen Situation verfahren soll. Zum einen kann er dann die Fehlermeldung unterdrücken und die Erzeugung der fraglichen Funktion schlicht unterlassen. Bei einem korrekten Programm erhalten Sie so ein auf jeden Fall korrektes und standardgemäßes Ergebnis. Wenn sich aber ein Fehler in eine Ihrer Templatedefinitionen eingeschlichen hat, erfahren Sie davon erst, wenn der Linker die entsprechende Funktion nicht findet, und der kann Ihnen dann auch nicht mehr sagen, wo genau der Fehler lag.

Deshalb gibt es für die Programmentwicklung eine zweite Strategie, die in den meisten praktischen Fällen auch zu korrekten Ergebnissen führen wird. Auch hier wird versucht, alle theoretisch erforderlichen Templatefunktionen zu generieren. Die dabei auftretenden Fehler werden aber in gewohnter Weise gemeldet. Für eine weitere Diskussion dieser Wahlmöglichkeit verweise ich Sie erneut auf Abschnitt 2.5.2.6.10 des Benutzerhandbuchs.

7.4 Beispielprogramm: Schon wieder verkettete Listen

In Abschnitt 2.7.6 wurde eine simple Implementierung einer doppelt verketteten Liste vorgestellt, und in Kapitel 3.4 haben wir die Angelegenheit über Vererbung etwas eleganter gelöst - Ich hoffe, daß Sie diese Programme nicht schon völlig vergessen haben. Einer der Hauptvorteile der Alzheimer-Krankheit ist ja, daß man jeden Tag neue C++-Features kennenlernt (allerdings bin ich mir nicht sicher, ob überhaupt ein gesunder Mensch jemals C++ in seiner Gesamtheit erfassen wird). Es drängt sich geradezu auf, das gleiche Problem über Templates zu lösen - und Sie werden sehen, daß es damit noch einfacher wird. Damit Kapitel 4 nicht völlig für die Katz war, benutzen wir auch die kleine Stringbibliothek aus Abschnitt 4.2.3. Dadurch können die Namen und Telefonnummern beliebig lang werden.

Damit es nicht allzu langweilig wird, fangen wir noch mal ganz grundsätzlich von vorn an. Die Elemente einer typischen sortierten Liste haben meist einen `"Schlüssel"`, nach dem sortiert bzw. gesucht wird, und die mit dem Schlüssel assoziierten eigentlichen Daten. Oder, um noch einmal auf unserem Telefonbuch-Beispiel herumzureiten: Die Liste wird sortiert und durchsucht nach Namen, und zu jedem Namen gehört dann eine Telefonnummer. Vereinfacht sieht das Template für einen Listeneintrag dann so aus:

```
template <class K, class D> class Listenelement
{
   K key;    // Schlüssel
   D data;   // assoziierte Daten
};
```

Wir gehen davon aus, daß die Daten des `"key"`-Typs mit den Operatoren `"<"` und `"=="` vergleichbar sind und über `"cout"` ausgegeben werden können - falls dem nicht so ist, soll der Benutzer unserer Templates die Operatoren eben entsprechend überladen. Damit steht auch schon das Skelett unseres Programms. Den ganzen Rest entnehmen sie bitte dem nachfolgenden kommentieten Listing.

```
//  Ein Listen-Template
//
//  Jens Gelhar 16.09.94

#include <stream.h>
#include <tools/str.h>

// * * * generische Datentypen * * *

template <class K, class D> class Liste;

template <class K, class D> class Listenelement
{ private:
    Listenelement *next, *prev;    // Vorgänger und Nachfolger
    K key;          // Schlüssel, nach dem gesucht und sortiert wird
    D data;         // der eigentliche Inhalt

    virtual ~Listenelement() { }
```

```
    // virtueller Destruktor - hier nur ein Dummy, kann aber
    // in abgeleiteten Klassen überdeckt werden

  public:
    // kleine Extras: andere Klassen dürfen "next" und
    // "prev" auslesen
    Listenelement<K,D> *getnext() const
      { return next; }
    Listenelement<K,D> *getprev() const
      { return prev; }

  friend class Liste<K,D>;  // Diese später deklarierte Klasse
                            // braucht Zugriff auf private Member
};


template <class K, class D> class Liste
{ private:
    Listenelement<K,D> *anfang, *ende;  // erstes und letztes Element
                                        // der Liste
  public:
    Liste();           // Konstruktor zur Initialisierung
    ~Liste();          // Destruktor (löscht alle Listenelemente)

    void ausgabe();    // gibt die ganze Liste aus

    void einfuegen(const K &k, const D &d);
    // fügt ein neues Element in die Liste ein

    Listenelement<K,D> *suchen(const K &k);
    // sucht ein Element mit dem Schlüssel k und liefert Zeiger
    // darauf bzw. Null, wenn kein solches Element existiert.

    void loeschen(Listenelement<K,D> *);
    // hängt ein Element aus der Liste aus und löscht es
    // mit "delete"
};

template<class K, class D> Liste<K,D>::Liste()
{
   anfang = 0;
   ende = 0;
}

template<class K, class D> Liste<K,D>::~Liste()
{
   Listenelement<K,D> *p = anfang;

   while(p)
     { Listenelement<K,D> *hilf = p;
       p=p->next;
       delete hilf;
```

```
    }
}

template<class K, class D> void Liste<K,D>::ausgabe()
{
   for(Listenelement<K,D> *l = anfang; l; l = l->next)
      cout << l->key << " " << l->data << "\n";
}

template<class K, class D>
   Listenelement<K,D> *Liste<K,D>::suchen(const K &k)
{
   for(Listenelement<K,D> *e = anfang;
       e && e->key != k;
       e = e->next);
   return e;
}

template<class K, class D>
  void Liste<K,D>::einfuegen(const K &k, const D &d)
{
   // Position suchen:
   Listenelement<K,D> *neu, *pos = anfang;
   while (pos && pos->key > k)
      pos = pos->next;

   // neues Element erzeugen:
   neu = new Listenelement<K,D>;
   if (!neu) return;
   neu->key = k;
   neu->data= d;

   // Element an Position "pos" in Liste einfügen
   // (prinzipiell genau wie in der ersten Programmversion)

   if (pos == 0)
    // Sonderfall: Anfügen an das Ende der Liste
    {
      Listenelement<K,D> *alt = ende;     // altes Listenende

      if (alt != 0)
      // allgemeiner Unter-Fall: wirklich anhängen
      {
        alt->next = neu;
        neu->prev = alt;
        neu->next = 0;
        ende = neu;
      }
      else
      // spezieller Spezialfall: Liste ist noch leer
      { neu->next = 0;
        neu->prev = 0;
```

```
        anfang = neu;
        ende = neu;
      }
    }
   else
    if (pos->prev == 0)
    // Sonderfall: Neues Element an Listenanfang hängen
    {
      pos->prev = neu;
      neu->next = pos;
      neu->prev = 0;
      anfang = neu;
    }
    else
    // allgemeiner Fall: Element in Liste einhängen
    {
      Listenelement<K,D> *vor = pos->prev;
      // "neu" zwischen "vor" und "pos" einhängen:
      vor->next = neu;
      neu->prev = vor;
      neu->next = pos;
      pos->prev = neu;
    }
}

template<class K, class D>
   void Liste<K,D>::loeschen(Listenelement<K,D> *E)
  // Löscht das Element, auf das "E" zeigt, aus der Liste
{
   // Vorgänger unf Nachfolger des zu löschenden Elements
   Listenelement<K,D> *vor = E->prev, *nach = E->next;

   if (vor)
   // Element hat Vorgänger: Dann dessen Nachfolger umsetzen
     vor->next = nach;
   else
   // kein Vorgänger: Dann Listenanfang aktualisieren
     anfang = nach;

   if (nach)
   // Element hat Nachfolger: Dann dessen Vorgänger verändern
     nach->prev = vor;
   else
   // kein Nachfolger, also Listenende anpassen
     ende = vor;

   delete(E);
}

// * * * spezielle Datentypen * * *

typedef Listenelement <String,String> Eintrag;
```

```
typedef Liste <String,String> Telefonbuch;

// * * *  Hauptprogram  * * *

int main()
{
   // Eine Liste wird deklariert und initialisiert:

   Telefonbuch t;

   // Ein paar Beispieldaten werden eingefügt:

   t.einfuegen("Harley-Davidson", "001-414/342-4680");
   t.einfuegen("Boris Becker", "0815/4711");
   t.einfuegen("James Bond", "007/26731");
   t.einfuegen("Maxon", "06196/481813");
   t.einfuegen("Zaphod Beeblebrox", "00042/08154242");
   t.einfuegen("Die Allwissende Billardkugel", "0231/7281453");
   t.einfuegen("Queensr\377che", "795069");
   t.einfuegen("Fishbone", "4676152");

   // Ein Datensatz wird gesucht und ggf. gelöscht:

   Eintrag *e = t.suchen("Maxon");
   if (e)
     t.loeschen(e);
   else
     cout << "Name nicht gefunden!\n";

   // restliche Liste ausgeben:
   t.ausgabe();

  // Löschen der Liste geschieht automatisch durch Destruktor-Aufruf
}
```

8. Ausnahmebehandlung

8.1 Worum gehts?

Wenn ein größeres Programm läuft, tut es das nicht immer so glatt wie es sollte. Bullshit happens, und laut Murphy wird zwangsläufig so einiges schiefgehen: Mal läuft der Speicher über, dann kann ein Window oder Screen nicht geöffnet werden; ein anderes mal ist eine Library nicht vorhanden oder eine Datei nicht verfügbar. Falls Sie mit dem RAM-Ausbau Ihres Amiga etwas knauserig waren, muß ich Ihnen sicher nicht erzählen, daß so manches Programm gnadenlos abstürzt, wenn der Speicher nicht reicht - und dieses Problem gibt es natürlich nicht nur in der Amiga-Welt.

Warum eigentlich wird die Fehlerbehandlung bei Programmen oft so nachlässig gehandhabt? Weil es - Hand aufs Herz! - ganz einfach nervt, bei jeder kritischen Operation auftretende Fehler sauber abzufangen und die Programmausführung dann sauber fortzusetzen. Wenn z. B. eine Datei geschrieben werden soll, prüfen die weitaus meisten Programmierer durchaus, ob sie korrekt geöffnet werden konnte. Die wenigsten testen aber bei jeder Schreiboperation, ob sie korrekt durchgeführt wurde - ganz einfach, weil das für den Programmierer jede Menge Arbeit bedeutet.

Erschwerend kommt ja noch hinzu, daß der Code, in dem ein Fehler auftritt, oft von jemand ganz anderem geschrieben wird als der Programmteil, in dem er abgefangen werden muß. Tritt z. B. in einer Klassenbibliothek ein Speicherüberlauf oder ein anderer Allerweltsfehler auf, weiß der Entwickler der Bibliothek nicht, was er damit anfangen soll: Das ganze Programm mit einer Fehlermeldung abbrechen? Die Operation abbrechen und einen Fehlercode zurückgeben, der im Zweifelsfall vom aufrufenden Programm ohnehin ignoriert wird? Den Fehler irgendwie dem Anwender des Programms melden und sich so gut wie möglich durchwurschteln? Solche Unklarheiten führen oft zu „unerwarteten" Effekten.

Um die Zuverlässigkeit der Software zu erhöhen, besitzen einige moderne Programmiersprachen das Konzept der Ausnahmebehandlung („Exception Handling"). Der Programmierer soll die Möglichkeit erhalten, sein Programm nach jedem denkbaren Laufzeitfehler so sinnvoll wie möglich fortsetzen zu lassen. Zugegebenermaßen kann man das theoretisch in jeder beliebigen Programmiersprache, aber durch Ausnahmebehandlung kann der Programmierer das so einfach implementieren, daß eine gewisse Aussicht besteht, daß er es auch tut. Deshalb ist Exception Handling z. B. Bestandteil der Sprache ADA (Militärs hatten ja immer schon ein gesteigertes Sicherheitsbedürfnis) und wurde kürzlich auch in C++ aufgenommen. Neben den Templates ist Ausnahmebehandlung die zweite große Neuerung des 3.0-Standards und wird mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auch in den geplanten ANSI C++ Standard eingehen.

Damit hier keine Mißverständnisse entstehen: Das C++ Exception Handling hat absolut nichts mit Prozessor-Exceptions zu tun, auch wenn eine ähnliche Idee dahintersteht. Ausnahmebehandlung ist ein echtes High-Level-Feature einer Luxus-Programmiersprache und vollkommen unabhängig von der unterliegenden Hardware. So, und wenn ich Ihnen jetzt noch verspreche, daß das ganze ziem-

lich einfach zu benutzen ist, sind Sie hoffentlich motiviert, sich dieses Kapitel aufmerksam durchzulesen.

8.2 Vom Werfen und Auffangen

Nehmen wir einmal an, eine Funktion ihres Programms entdeckt irgendwo einen Laufzeitfehler, mit dem sie nichts anfangen kann. Dies ist der rechte Zeitpunkt, um eine Ausnahme zu „werfen", wofür wir eine `"throw"`-Anweisung verwenden. Dadurch wird die Funktion abgebrochen und die Programmausführung in einem passenden „Handler" in der aufrufenden Funktion fortgesetzt.

Eine Mitteilung der Art „Ey Boß, wir haben ein Problem, aber ich weiß leider nicht, welches" ist im allgemeinen wenig hilfreich. Beim Schmeißen von Exceptions wird deshalb ein Ausdruck beliebigen Typs übergeben. Eine Funktion mit einer `throw`-Anweisung könnte z. B. so aussehen:

```
char *alloc_irgendwas()
 {
   char *mem = new char[26731];
   if (!mem)                          // Fehler aufgetreten:
     throw "Das ging in die Hose";    // also Exception werfen

   ... irgendwelcher sonstiger Code ...

   return mem;
 }
```

Der Ausdruck, der bei dieser Exception übergeben wird, ist hier also ein mehr oder weniger informativer String. Ebenso einfach wäre es, eine Fehlernummer zu übergeben, z. B. `"throw 42"`. In der Praxis wird man nicht so einfache Ausdrücke, sondern Objekte irgendwelcher Klassen verwenden, aber für den Anfang beschränken wir uns hier auf simple Beispiele.

Viel interessanter ist im Moment nämlich die Frage, was das Programm tut, nachdem die Ausnahme geworfen wurde. Normalerweise sieht ein Programmablauf ja so aus, daß das Hauptprogramm Funktionen aufruft, welche wiederum Funktionen aufrufen, die selbst wieder Aufrufe enthalten von Funktionen, die weitere Funktionen... - ich nehme an, sie haben verstanden, was ich sagen will. Irgendwo auf tiefer Ebene dieser vielfach verschachtelten Funktionsaufrufe kann nun jederzeit etwas schiefgehen, und laut Murphy wird es auch schiefgehen. Ein Laufzeitfehler macht es im Zweifelsfall unmöglich, sämtliche Prozeduren sinnvoll zu Ende zu führen. Es muß also eine geeignete Anzahl von Prozeduraufrufen kalt abgebrochen und auf einer geeigneten Ebene der Fehler behandlet und das Programm fortgeführt werden.

Einen Ausnahme-Handler modelliert man durch einen `„try"`-Block, der überall im Programm als Anweisung benutzt werden kann. Er hat ungefähr folgende Form:

```
void sicher()
 {
   IrgendwelcherCode();

   try      // dieses Symbol leitet den Try-Block ein
    {       // der Anweisungsteil ist immer eine Verbundanweisung
```

```
        Anweisung1();
        Anweisung2();
        // usw...
    }
    catch (int i)     // Ein Handler für Ausnahmen des Typs "int"
    {
        cout << "Fehler #" << i << "!\n";
        BehandleFehler(i);
    }
    catch (char*)
    {
        // Code für Behandlung von String-Fehlern
    }
    catch (const class Test &t)
    {
      // noch so ein Handler
    }

    RestlicherCode();
}
```

In der Funktion `"sicher"` taucht also plötzlich eine Try-Anweisung auf. Sie enthält einige Anweisungen, für die die nachfolgend beschriebenen Handler gelten sollen. Die Handler werden unmittelbar an die Try-Anweisung angehängt und mit dem Symbol `"catch"` eingeleitet. Zunächst aber werden die Anweisungen in der Try-Anweisung ausgeführt, und wenn dabei alles klar geht, wird hinter dem Try-Block weitergemacht, hier also bei `"RestlicherCode()"`.

Interessant wird es, wenn innerhalb der Try-Anweisung eine Ausnahme geworfen wird. Normalerweise wird dies nicht direkt textuell innerhalb des Try-Blocks geschehen - im Beispiel schon allein deshalb nicht, weil dort überhaupt keine Throw-Anweisung steht - sondern in einer ganz anderen Funktion, die direkt oder indirekt in der Try-Anweisung aufgerufen wird.

Es könnte z. B. sein, daß die Funktion `"Anweisung1()"` eine Funktion `"xxx()"` und die wiederum die oben dargestellte Funktion `"alloc_irgendwas()"` aufruft, und darin steht ja bekanntlich eine Throw-Anweisung mit einem String-Argument, das den Typ `"char *"` besitzt. Nehmen wir an, daß der entsprechende Laufzeitfehler auch auftritt und die Ausnahme folgerichtig geworfen wird. Nun werden alle aufgerufenen Funktionen abgebrochen und vom Laufzeitstack entfernt, bis auf einen Try-Block mit einem passenden Handler gestoßen wird. In unserem Fall befinden wir uns ja immer noch in der Ausführung des Try-Blocks aus der Funktion `"sicher()"`, welcher einen Handler für den Typ `"char *"` enthält. Wenn wir zusätzlich einmal unterstellen, daß auf tieferer Ebene kein weiterer passender Handler deklariert wurde, wird jetzt der Code dieser Catch-Anweisung ausgeführt. Hier sollte das Programm in einen möglichst sinnvollen Zustand versetzt werden, denn anschließend wird das Programm hinter dem Try-Block (`"RestlicherCode()"`) fortgesetzt, als wenn nichts passiert wäre.

8.3 Von Ausnahmen und ihren Typen

Eine Throw-Anweisung kann einen Ausdruck beliebigen Typs werfen. Dann werden alle zu dem Zeitpunkt begonnenen und noch nicht beendeten Try-Blöcke nach einem passenden Handler abgesucht, und der erste gefundene wird ausgeführt. Gibt es überhaupt keine passende Catch-Anweisung, steigt das Programm gnadenlos aus.

Genau das habe ich Ihnen schon einmal mehr oder weniger genauso erzählt. Was aber ist ein „passender" Handler? Trivialerweise kann eine Exception eines Typs `"T"` von einem Handler gleichen Typs, also einer Anweisung wie `"catch(T t1)"`, aufgefangen werden. Aber auch einige Typumwandlungen sind möglich, allerdings leider nicht alle in C++ bekannten Umwandlungen. Die korrekte Regel lautet so:

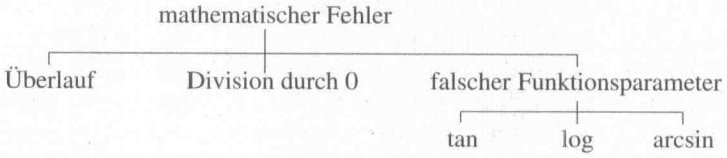
Eine Exception des Typs `"E"` kann von einer Catch-Anweisung des Typs `"C"`, `"const C"`, `"C&"` oder `"const C&"` aufgefangen werden, wenn

a) `C` und `E` identisch sind oder
b) `E` ein Zeigertyp und `C` mit `"void*"` identisch ist oder
c) `C` eine Basisklasse von `E` ist oder
d) `E` ein Zeiger auf eine Klasse `X` und `C` ein Zeiger auf eine Basisklasse von `X` ist.

Die Regel (**a**) beschreibt den trivialen Fall, den Sie schon in den bisherigen kleinen Beispielen gesehen haben, und nach (**b**) kann offensichtlich ein `"catch(void *v)"` Ausnahmen beliebiger Zeigertypen auffangen. Die beiden letzten Regeln sind wesentlich interessanter, denn sie ermöglichen die beliebte Technik, Ausnahmen zusammenzufassen.

Ein fast schon kanonisches Beispiel: Nehmen wir an, eine mathematische Bibliothek werfe verschiedene Ausnahmen. Denkbar wären z. B. der arithmetische Überlauf, Division durch Null und ein falsches Funktionsargument bei `"tan"`, `"log"` und `"arcsin"`. Für jeden dieser fünf Fehler kann man nun eine Fehlerklasse einführen und bei einer Exception einen Ausdruck der betreffenden Klasse werfen. Der Haken an der Sache ist, daß ein Programm, daß die Bibliothek benutzt, im Zweifelsfall immer fünf verschiedene Handler bereithalten müßte.

Andererseits gibt es im genannten Beispiel aber auch eine leicht sichtbare Hierarchie:



Also führt man, wenn man denn klug ist, die folgende Klassenhierarchie ein:

```
class MathErr { };

class OverflowErr: public MathErr { };
class DivisionErr: public MathErr { };
```

```
class FunctionErr: public MathErr { };

class TanParamErr: public FunctionErr { };
class LogParamErr: public FunctionErr { };
class ArcSinParamErr: public FunctionErr { };
```

Die Bibliothek wirft dann immer exakte Fehlermeldungen aus, z. B.

```
throw DivisionErr();
```

Man beachte, daß diese Klassenhierarchie aus lauter leeren (d. h. datenlosen) Klassen besteht, denn wir gehen einmal davon aus, daß außer dem Typ keine weiteren Informationen über den Laufzeitfehler benötigt werden. Die obige Anweisung mag Sie vielleicht verwirren: **"DivisionErr()"** ist kein Funktionsaufruf, sondern erzeugt mit Hilfe des Defaultkonstruktors ein namenloses temporäres Objekt eben dieser Klasse.

Der Trick an der Sache: Der Benutzer unserer Mathe-Bibliothek kann jetzt selbst einscheiden, ob er pauschal irgendwelche mathematischen Fehler oder ganz bestimmte Fehler abfangen will, oder er kann sogar mischen:

```
try
 {
   // Mathe-Aufrufe
 }
catch (DivisionErr &d)
 {
  cout << "Division durch Null!";
 }
catch (MathErr &m)
 {
  cout << "Mathematischer Fehler!";
 }
```

Der zweite Handler kann beliebige von **"MathErr"** abgeleitete Ausnahmen behandeln, der erste nur die der Klasse **"DivisionErr"** (oder auch Ausnahmen davon abgeleiteter Klassen, aber die gibt es hier ja nicht). Da der **"DivisionErr"**-Handler im Programmtext vor dem allgemeinen **"MathErr"**-Handler steht, wird er bei **"throw DivisionErr()"** auch zuerst gefunden und aufgerufen - bei umgekehrter Reihenfolge wäre er unerreichbar.

Damit Sie mal gesehen haben, daß es das auch gibt, wurden im obigen Beispiel in den Handlern Referenztypen benutzt. Die Wirkung ist eigentlich genau wie bei einem Funktionsaufruf: Der von der Exception geworfene Ausdruck wird dann nicht umkopiert, sondern nur in Form einer Adresse (also Referenz) an den Handler übergeben. In diesem Fall bringt das natürlich keinen Gewinn, denn das Umkopieren eines absolut leeren Klassenobjekts wie **"DivisionErr()"** kostet natürlich keinerlei Zeit.

Einen kleinen Unterschied gibt es aber doch. Betrachten Sie doch mal das folgende Beispiel:

```
class Base
 { public:
     virtual void f();
 };

class Derive: public Base
 { public:
     void f();
 };

void schmeiss()
 {
   throw Derive();
 }

void fang()
 {
  try
   {
    schmeiss();
   }
  catch (Base &b)
   {
    b.f();        // welche Funktion?
   }
 }
```

So, wie das Programm jetzt dasteht, erhält der Handler eine Referenz auf das geschmissene **"Derive"**-Objekt, und folglich wird die Funktion **"Derive::f"** aufgerufen. Würde man aber das kleine, unauffällige **"&"** in der Catch-Anweisung weglassen, wäre **"b"** ein Objekt der Klasse **"Base"**, und folglich käme **"Base::f"** zum Zuge.

Wenn Sie von solchen Spitzfindigkeiten einmal absehen, müssen Sie doch wohl zugeben, daß Fehler-Hierarchien eine feine Sache sind. Der nächste logische Schritt ist, sich eine Klasse zu definieren, von der alle überhaupt auftretenden Ausnahmeklassen abgeleitet werden. Kanonisch wäre es, diese Klasse **"Exception"** zu nennen. Da stoßen Sie allerdings auf das Problem, daß es noch keine Norm für Standard-Exceptions gibt. Der ANSI-C++-Standard, dessen Erscheinen wir vielleicht noch erleben werden, könnte dies tun. Bis dahin gilt die unverbindliche Empfehlung von C++-Papst Bjarne Stroustrup, diese Klasse **"Exception"** bis auf einen virtuellen Destruktor völlig leer zu lassen. Eine solche Klasse wird bei MaxonC++ in der Include-Datei „*<exception.h>*“ definiert und ist z. B. auch die Basis aller Ausnahmen, die von der MaxonC++ Klassenbibliothek geworfen werden.

8.4 Vom Fangen und wieder Wegwerfen

Ein paar ganz nützliche Variationen gibt es beim Auffangen von Ausnahmen noch und sollen Ihnen nicht vorenthalten werden. Zuerst sei kurz erwähnt, daß der Parameter eines Handlers auch namenlos sein kann, z. B.

```
catch (Matherr&)
  {
    // ...ganz normaler Code
  }
```

So kann man natürlich nicht auf das geworfene Datenobjekt zugreifen, aber meist ist dessen Klasse als Information schon vollkommen ausreichend. Sie können sich also die Mühe ersparen, sich einen Namen für einen unnützen Parameter auszudenken und einzutippen. Ansonsten funktioniert ein solcher „namenloser" Handler natürlich genau wie die bisher vorgestellten.

Es gibt nicht nur namenlose, sondern auch typlose Handler. Wenn eine Funktion beliebige Argumente haben darf, verwendet man bekanntlich eine Parameterliste mit Ellipse `"..."`. Diese Syntax ist auch bei Catch-Anweisungen erlaubt:

```
catch(...)
  {
    cout << "Da ist wohl was schiefgegangen";
  }
```

Dieser Handler fängt also jede beliebige Ausnahme auf. Innerhalb der Catch-Anweisung sind dann zwar keine Informationen über die Art der Ausnahme verfügbar, aber oft genug will man es gar nicht so genau wissen.

Ausnahmen können an wirklich jeder Stelle des Programms auftreten, und damit natürlich auch innerhalb einer Ausnahmebehandlung. Wenn es während der Ausführung einer Catch-Anweisung zu einer erneuten Exception kommt, wird die Catch-Anweisung natürlich abgebrochen und ein passender Handler für die neue Exception angesprungen. Dabei werden die Catch-Handler des gerade abgearbeiteten Try-Blocks nicht mehr in Betracht gezogen, denn die zugehörige Try-Anweisung wurde ja bereits mit der ersten Exception beendet.

Es ist sogar eine halbwegs gängige Praxis, in Handlern gezielt Ausnahmen zu werfen, wenn man feststellt, daß eine Ausnahme doch nicht behandelt werden kann. Ein Beispiel:

```
class DosFehler
{ public:
    int errorcode;
};

void irgendwas()
{
  try
    {
      // irgendwelche Dateioperationen
    }
```

```
    catch (DosFehler &df)
     {
       if (df.errorcode == 205)
         cout << "Tut mir leid, die Datei wurde nicht gefunden.";
       else
         throw df;
     }
}
```

Dieser Handler kümmert sich nur um den wohl harmlosesten Dateifehler, nämlich eine nicht vorhandene Datei. Im Amiga-DOS hat dieser Fehler den Code 205, weshalb übrigens auch in der Datei „*<dos/dos.h>*" die Konstante **"ERROR_OBJECT_NOT_FOUND"** entsprechend definiert ist. Bei allen anderen denkbaren Fehlerursachen betrachtet dieser Handler sich als unzuständig und gibt die Exception deshalb an einen hoffentlich existierenden anderen Handler weiter.

Das geht aber auch einfacher: Ein **"throw;"** ganz ohne Argument wirft die zuletzt aufgetretene und noch nicht vollständig behandelte Ausnahme noch einmal. Auch dazu ein Beispiel:

```
void kritisch()
{
  char *speicher = new char[50000];
  if (!speicher) throw MemError();

  try
   {
     mach_was(speicher); // hier passiert irgendetwas
   }
  catch(...)
   {
     delete [] speicher;
     throw;
   }

  delete [] speicher;
}
```

Ganz ohne Try-Block und Ausnahmebehandlung wäre diese Funktion in der Tat kritisch: Am Anfang wird ein nicht unerheblicher Speicherblock angefordert. Wenn nun aber in der Funktion **„mach_was"** eine Ausnahme aufträte, würde das Ende der Funktion **„kritisch"** und damit die **"delete"**-Anweisung nicht erreicht. Die 50 KByte Speicher würden also nicht wieder freigegeben. Auf einem PC, der mit den momentan verfügbaren Windows-Versionen ja unter 8 MByte RAM kaum noch lauffähig ist (Windows „Chicago" 95 war zur Drucklegung dieses Buchs noch nicht verfügbar, weshalb ich keine Prognose über den zukünftigen Speicherbedarf wage), ist der Anwender an Speicherverschwendung gewöhnt und würde ein solches Programm wohl achselzuckend hinnehmen. Der Amiga-User legt aber Wert auf intelligente - und damit auch speichersparend geschriebene - Software, weshalb **"kritisch()"** diesen auf den ersten Blick etwas seltsamen Exception Handler erhalten hat.

Das `"catch(...)"` fängt zunächst alle Probleme ab, die in `"mach_was()"` auftreten können. Im Handler wird zunächst der angeforderte Speicher wieder freigegeben. Da wir aber eigentlich nicht vorhatten, in gerade dieser Funktion eine detaillierte Ausnahmenbehandlung zu realisieren, werfen wir die aufgetretene Ausnahme mit `"throw;"` einfach wieder aus und überlassen sie den anderen (hoffentlich) gerade gültigen Handlern. Unser Handler nimmt damit keinen Einfluß auf den Ablauf des Programms und des Exception Handlings und sorgt lediglich dafür, daß der Speicher aufgeräumt wird.

Im folgenden Kapitel finden Sie Hinweise auf eine Methode, wie man das Problem auch eleganter lösen könnte. Gestatten Sie mir zunächst noch den Hinweis, daß das argumentlose `"throw;"` nicht nur direkt innerhalb einer Catch-Anweisung, sondern an jeder beliebigen Stelle eines Programms auftreten darf. Die folgende Funktion wäre z. B. legal:

```
void schmeissweg()
  {
    throw;
  }
```

Nun kann der Compiler nicht prüfen, wo genau diese Funktion später einmal aufgerufen wird. Es ist gut möglich, daß `"schmeissweg"` aufgerufen wird, ohne daß überhaupt eine Ausnahme aufgetreten wäre. Dann wird die Funktion `"abort"` aufgerufen, was zum sofortigen Abbruch des Programms führt. Man kann das getrost auch einen Laufzeitfehler nennen.

8.5 Von Konstruktoren und Destruktoren

Schon im guten alten ANSI C gabe es so etwas wie eine Ausnahmebehandlung, nämlich die beiden Funktionen `"setjmp"` und `"longjmp"`. Auch mit diesen simplen Funktionen konnte man auf einen Rutsch aus tief verschachtelten Funktionsaufrufen aussteigen, was sich besonders gut zur Behandlung kniffliger Laufzeitfehler eignete. Warum also braucht man noch das Exception Handling?

Zwei Vorteile sind bereits offensichtlich: Exception Handling ist übersichtlicher als diese obskuren `"setjmp"`-Konstrukte, und man kann für verschiedene Fehler auch verschiedene Handler angeben, ohne sich um die Auswahl des jeweils passenden Handlers näher zu kümmern.

Die C++ Ausnahmebehandlung hat aber noch eine weitere erfreuliche Eigenschaft: Destruktoren für lokale Variablen werden dabei korrekt aufgerufen. Ein Beispiel:

```
void mach_was(istream &is)
 {
   for (;;)                    // eigentlich eine Endlosschleife
    { if (!is) throw 42;       // verwegener Schleifenaussteig!
      cout << (char)is.get(); // Zeichen lesen und ausgeben
    }
 }

void fileop(char *name)
 {
```

```
    ifstream is(name);
    mach_was(is);
    cout << "Hierhin dürften wir kaum kommen...";
  }

int main()
 {
   try
    { fileop("s:startup-sequence"); }
   catch (int i)
    { cout << "Ausnahme " << i << " aufgetreten.\n"; }
 }
```

Bekanntlich wird beim Destruieren eines Stream-Objekts die zugehörige Datei geschlossen, sofern das noch nicht geschehen ist. Wenn hier in **"mach_was"** eine Ausnahme geworfen und diese in **"main"** aufgefangen wird, wird vorher noch das Objekt **"is"** aus der Funktion **"fileop"** destruiert und damit die Datei geschlossen.

Dieses Feature kann man wie versprochen benutzen, um das Beispiel aus Abschnitt 8.4 eleganter zu formulieren:

```
class MemError { };  // nur ein Dummy

class MemWatch
{   char *p;
  public:
    MemWatch(unsigned size)
      { if (!(p=new char[size])) throw MemError(); }

    ~MemWatch() { delete [] p; }

    operator char*() { return p; }
};

void mach_was(char*);

void kritisch()
{
  MemWatch speicher(50000);
  mach_was(speicher);
}
```

Die Klasse **"MemWatch"** realisiert einen Pointer mit automatischer Speicherfreigabe. Ganz egal, ob nun in **"mach_was"** eine Ausnahme auftritt oder nicht: Das Objekt **"speicher"** wird auf jeden Fall destruiert und damit der angeforderte Speicher freigegeben.

Bei der Konzeption der Ausnahmebehandlung von C++ ist man davon ausgegangen, daß eine Exception relativ selten auftritt. Wenn ein Teil eines Programms läuft, ohne daß irgendwelche Ausnahmen auftreten, soll es idealerweise genauso schnell und kompakt wie ein gleichwertiges Programm ganz ohne Exception Handling sein (dafür darf die Behandlung einer Ausnahme auch etwas

Zeit kosten). Dieses Ziel wird von MaxonC++ beinahe erreicht. Ich sage „beinahe", weil ein Programm trotzdem in irgendeiner Weise protokollieren muß, welche Objekte im Falle einer Exception wie destruiert werden müssen.

Daraus folgt, daß Programme mit Ausnahmebehandlung in MaxonC++ 3 doch etwas (aber nicht viel!) länger und langsamer geraten als bei den bisherigen Compiler-Versionen. Für Leute, die Exception Handling nicht mögen, gibt es deshalb die Möglichkeit, sie schlicht auszuschalten. Benutzt man die Option `"-pe"` oder den entsprechenden Schalter im Compiler-Dialogfenster, so schraubt man den Compiler auf einen „2.0 plus Templates"-Sprachstandard herunter. Die Schlüsselworte `"try"`, `"throw"` und `"catch"` werden nicht mehr als solche erkannt, und es wird kein Code mehr für die Destruktor-Buchführung erzeugt. Mein Tip lautet aber: Lassen Sie die Finger von diesem Schalter. Bei „klassischen" C-Programmen macht es überhaupt keinen und bei C++-Programmen nur einen geringen Unterschied, und für die MaxonC++ Klassenbibliothek brauchen Sie die Exceptions sowieso.

Zurück zum Thema Destruktoren: Eines der klassischen Probleme objektorienter Programmierung war die Frage, was man machen soll, wenn beim Aufruf eines Konstruktors ein Fehler auftritt. Bisher behalf man sich in C++ so, daß das Objekt dann nur „provisorisch" konstruiert wird und der Programmierer den Zustand manuell abfragen muß. Das bekannteste Beispiel ist wohl:

```
ifstream is(name);
if (!is) { ...Fehlerbehandlung... }
```

Schön ist so etwas natürlich nicht. Seit es Ausnahmebehandlung gibt, liegt es natürlich nahe, beim Scheitern eines Konstruktoraufrufs eine Exception auszuwerfen. Neben dem Wegfallen der manuellen Fehlerbehandlung hat das den Vorteil, daß nie ein unvollständig konstruiertes Objekt existieren kann. Natürlich wird dann auch der Destruktor für das un-konstruierte Objekt (hier also `"is"`) nie aufgerufen.

Was das ganze mit Destruktoren zu tun hat? Nun, ich möchte in ganz einfach darauf hinweisen, daß bei Konstruktoraufrufen alles so abläuft, wie man sich das wünscht:

```
class B1
{ public: B1(int);
          ~B1(); };

class B2
{ public: B2(char *);
          ~B2(); };

class B3
{ public: B3(double);
          ~B3(); };

class C : public B1, public B2, private B3
{
    B1 m1, m2, m3;
  public:
```

```
    C();
};

C::C() : B1(17), B2("vier"), B3(21.0), m1(26), m2(7), m3(31)
{
   // bis hierher kann schon beliebig viel schiefgegangen sein!
   throw 42;                          // ...und jetzt auch noch das!
}
```

Ignorieren Sie bitte zunächst einmal die Throw-Anweisung im Konstruktor von `"C"`. Prinzipiell können schon die Konstruktoren von `"B1"`, `"B2"` und `"B3"` beliebig viele Exceptions verursachen. Nehmen wir doch einmal an, bei der Initialisierung des Members `"m2"` tritt eben dies auf. Natürlich wird der Konstruktor von `"C"` an dieser Stelle abgebrochen und die Ausnahme an den aufrufenden Code weitergegeben. Das Problem dabei sind die drei Basisklassen sowie der Member `"m1"`, die ja alle schon initialisiert sind. Man stelle sich nur vor, eines dieser Objekte sei so etwas wie die Klasse `"MemWatch"` aus dem vorletzten Beispiel: Dann würde der angeforderte Speicherblock ja überhaupt nicht mehr freigegeben werden können! Und zu allem Überfluß ist es auch syntaktisch nicht möglich, um die Initialisierungsliste einen Try-Block zu legen und die Sache manuell zu erledigen.

Aber keine Angst: Konstruktoren und Destruktoren gehören in C++ zusammen wie Marianne Rosenberg und Brechreiz - das eine gibt es nie ohne das andere. Auch bei Ausnahmen in Konstruktoren bleibt C++ konsistent. Wenn während der Ausführung eines Konstruktors eine Exception auftritt, werden alle Basisklassen und Member, die zum betreffenden Zeitpunkt schon initialisiert sind, automatisch destruiert. Das gilt übrigens nicht nur für die Initialisierungsliste, sondern auch für Exceptions, die im eigentlichen Anweisungsteil des Konstruktors ausgeworfen werden. Im obigen Beispiel würden beim `"throw 42;"` also sämtliche Basisklassen und Member ganz von selbst destruiert.

8.6 Von erwarteten und unerwarteten Ausnahmen

Vielleicht gehören Sie zu jenem mißtrauischen Menschenschlag, der immer alles unter Kontrolle haben will. Dann dürfte Ihnen das Exception Handling in der bisher beschriebenen Form kaum gefallen: Sie benutzen eine Bibliotheksfunktion und haben keine Ahnung, ob diese nicht - Patsch! - plötzlich eine Ausnahme wirft und Ihr Programm abbricht. Das Problem kann man natürlich durch eine ausreichend detaillierte Dokumentation der Bibliothek lösen, aber zum einen sind Handbuchschreiber zuweilen äußerst nachlässige Zeitgenossen (da bin ich natürlich ausgenommen!) und zum anderen ist eine Klassenbibliothek, die man ohne ihren Quelltext erworben hat, manchmal eine genauso dubiose Angelegenheit wie ein Billig-PC von **b*s: Man weiß nie genau, was drinsteckt.

Der Gedanke liegt deshalb nahe, schon bei der Deklaration einer Funktion zu verraten, welche Ausnahmen diese einmal werfen soll. Das tut man, indem man hinter den Funktionsnamen `"throw"` schreibt und eine Liste von Datentypen folgen läßt, z. B.

```
class MemError{ };
class DOSError{ };

void f(int) throw (MemError,DOSError);
```

```
int g(char *a, char *b) throw(MemError)
{
  //...irgendwas...
  throw MemError();
}

class C
{ public:
    void Write() throw(DOSError);
    C(const char*) throw(MemError);
};

C::C(const char*)      // "throw" muß nicht wiederholt werden...
{ // ...
}

void Write() throw(DOSError)     // ...darf aber!
{ // ...
}

void h(const C&) throw();
```

In diesen Beispielen haben wir schon fast alles versammelt, was es zu diesen „Ausnahme-Deklarationen" zu sagen gibt. Falls Sie gerade verwirrt sein sollten: Nein, da stehen keine Throw-Anweisungen! Das Schlüsselwort `"throw"` wird hier zu einem ganz anderen Zweck eingesetzt. Nachdem schon `"static"` vier oder fünf verschiedene Bedeutungen hat, hatte man hier offensichtlich keinen Hemmungen, auch `"throw"` zu überladen.

Zunächst zur Bedeutung einer Ausnahme-Deklaration: Sie entspricht einer Garantie, daß die Funktion keine anderen als die angegebenen Exceptions auswirft. Eine Funktion wie

```
void f(int i) throw (MemError,DOSError)
{
  do_something();
}
```

kann natürlich wieder andere Funktionen aufrufen, und es kann dann passieren, daß diese Funktionen „unerlaubte" Ausnahmen auswerfen. Der Compiler kann deshalb nicht prüfen, ob eine Funktion wirklich das von der Ausnahme-Deklaration versprochene Verhalten zeigt.

Ist eine Ausnahme-Deklaration dann nichts anderes als ein unverbindlicher Kommentar? Keineswegs, denn die obige Funktion `"f"` entspricht

```
void f(int i)
{
  try
  {
    do_something();
  }
  catch(MemError)
```

```
    {
      throw;
    }
    catch(DOSError)
    {
      throw;
    }
    catch(...)
    {
      unexpected();
    }
}
```

Das heißt: Wenn eine Funktion eine Ausnahme-Deklaration besitzt, wird um ihren gesamten Anweisungsteil (bei Konstruktoren auch um die Initialisierungsliste, was sonst rein syntaktisch natürlich nicht geht) ein Try-Block gelegt, der „legale" Exceptions unverändert wieder auswirft und bei allen anderen eine Funktion namens **"unexpected"** aufruft, welche dann normalerweise **"abort"** aufruft und somit das Programm eiskalt abbricht.

Der Compiler kann also nicht kontrollieren, ob eine Funktion sich an ihre Ausnahme-Deklaration hält, aber er erzeugt immerhin Code, der andernfalls das Programm abbricht.

Noch ein paar Anmerkungen zur Syntax: Wenn man für eine Funktion einmal eine Ausnahme-Deklaration angegeben hat, kann man sie bei später nachfolgenden Deklarationen und Definitionen derselben Funktion wahlweise weglassen oder genau so wiederholen - das macht keinen Unterschied. Eine Funktion

```
void f() throw();
```

darf überhaupt keine Exceptions auswerfen, während eine „konventionelle" Funktion

```
void f();
```

jede beliebige Exception werfen darf.

Wenn in einer Ausnahme-Deklaration eine Klasse **"C"** aufgeführt wird, kann die Funktion auch Ausnahmen jeder von **"C"** abgeleiteten Klasse schmeißen. Für Zeiger auf Klassen gilt das entsprechend analog.

Zum Schluß noch ein paar Anmerkungen zur Bibliotheksfunktion **"unexpected"**: Ein Aufruf dieser Funktion sollte normalerweise nicht vorkommen, jedenfalls nicht mehr im fertigen Programm. In der Debuggingphase ist sie aber ganz nützlich. Normalerweise macht **"unexpected"** nichts anderes, als eine andere Funktion namens **"terminate"** aufzurufen, welche sich wiederum darauf beschränkt, **"abort"** anzuspringen. Man kann das aber ändern: Der Funktion **"set_unexpected"** kann man einen Zeiger auf eine andere parameterlose Funktion übergeben, die von **"unexpected"** aufgerufen werden soll, und liefert als Ergebnis die bisher gesetzte Funktion - beim ersten mal also **"terminate"**.

Wenn man mit einem kleinen `"typedef"` den in diesen Fällen üblichen Syntax-Kuddelmuddel von C umgeht, ist `"set_unexpected"` also wie folgt definiert:

```
typedef void (*PVF)();
PVF set_unexpected(PVF);
```

Analog dazu gibt es noch die Funktion `"set_terminate"`, mit der man festlegen kann, wohin `"terminate"` springen soll (Default ist ja `"abort"`). Alle diese Funktionen werden, zusammen mit der Klasse `"Exception"`, in der Includedatei „*<exceptions.h>*" deklariert.

8.7 Beispielprogramm: Das Übliche

Damit der Kreis sich schließt, möchte ich noch mal das Beispielprogramm aus Kapitel 6 ausgraben, in dem bekanntlich das gesammelte Know-How der Beispiele aus den Kapiteln 2 bis 4 steckt. Wir bringen also ein paar kleine Ergänzungen an, um unsere Listen endgültig zur Perfektion zu bringen.

Diese Ergänzungen sind simpler Natur: Wir definieren zuerst eine Exception, die ausgeworfen wird, wenn kein Speicher für neue Elemente mehr frei ist.

```
#include <exceptions.h>

class MemError : public Exception { };
```

Diese Exception wird dann von `"Liste::einfuegen"` geworfen:

```
template<class K, class D>
  void Liste<K,D>::einfuegen(const K &k, const D &d)
{
  // Position suchen:
  Listenelement<K,D> *neu, *pos = anfang;
  while (pos && pos->key > k)
     pos = pos->next;

  // neues Element erzeugen:
  neu = new Listenelement<K,D>;
  if (!neu) throw MemError();
  neu->key = k;
  neu->data= d;

  ...
```

Das war's dann auch schon. Tolles Beispielprogramm, nicht wahr?

Maxon C++ 3

Features

Light-Version
- C++-Compiler (AT&T 2.0 Standard)
- ANSI C-Compiler (Aztec- und Lattice-ANSI-kompatibel)
- CLI-Compiler
- HotHelp 3-Reader zum Anzeigen von HotHelp-Projekten

Developer-Version
- C++-Compiler (AT&T 3.0 Standard)
- Templates, Exceptions
- ANSI C-Compiler (wie Light-Version)
- CLI-Compiler
- beinhaltet zusätzlich: MaxonHotHelp 3, MaxonSDB, MaxonEASY-OBJECTS und MaxonASM-CLI

Compiler (C/C++)
- komfortable Projektverwaltung (Make)
- direkter Fehlerstellenansprung
- voll in den Editor integriert
- über ARexx-Schnittstelle steuerbar
- sehr schnelle Turnaroundzeiten
- echte vorkompilierte Include-Dateien (Preincludes)
- Include-Dateien für Kickstart 3.1
- speicherbarer Programmstatus
- Codegenerator für prozessorspezifischen Code 68010/20/30 und 68881/2 FPU

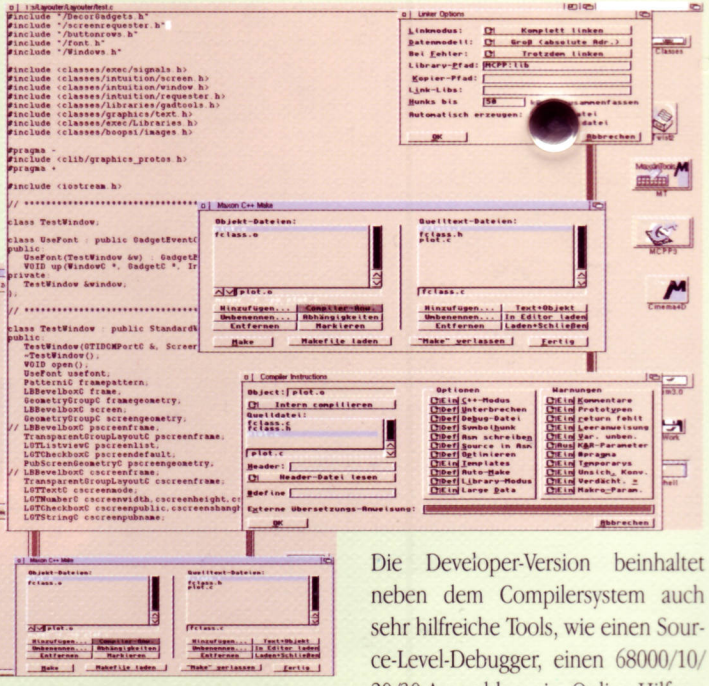
Programmeditor (EDWARD)
- Multi-Window-Technik
- beliebig viele Texte gleichzeitig bearbeitbar (speicherabhängig)
- Tastatur- und Menüfunktionen frei belegbar
- speicherbarer Programmstatus
- ARexx-Schnittstelle

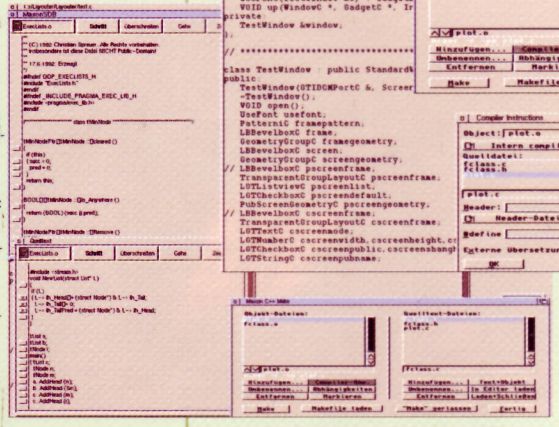
Hilfesystem HotHelp 3
(nur in der Developer-Version)
- Deutschsprachige Beschreibung der Library- und Device-Funktionen zu Amiga-OS 2.1
- jederzeit aktivierbar
- kontextsensitiv
- komfortabler Editor für eigene Projekte
- Online-Projekte (direkte übernahme von Texten und Sourcecode in das Hilfesystem)
- ARexx-Schnittstelle
- Grafikeinbindung direkt im Hilfetext
- direktes Lesen von AmigaGuide™-Projekten
- lizenzfreie Weitergabe des HotHelp 3-Anzeigers

Features der Klassenbibliothek (MaxonEASY-OBJECTS)
(nur in der Developer-Version)
- Ressourcenhandling: Betriebssystemressourcen (Speicher, Signale, Fenster, Bildschirme etc) werden automatisch verwaltet und bei Programmende freigegeben (keine aufwendige Fehlerbehandlung mehr nötig).
- Fehlerbehandlung durch Exceptions
- Handlerkonzept
- Datenstrukturen: Listen, dynamisch große Arrays, Datenpuffer (z.B. für I/O-Operationen)
- Verwaltung folgender Betiebssystemresourcen: Exec: Signale, Nachrichtenports, Speicher, Libraries, Devices, Listen - DOS: Locks, Dateien, Pfadnamen, Kommandozeilenargumente, Notifikation - Utility: Hooks und Taglisten - Intuition: Bildschirme, Fenster, IDCMP-Nachrichten, Systemrequester - Libraries: GadTools, ASL, Icons, Workbench, Tooltypes, Applikationenfenster
- BOOPSI Unterstützung
- automatisch größenveränderbare und font-veränderbare Fenster durch den Layouter
- deutschsprachige Online-Dokumentation

Externer Assembler (MaxonASM-CLI)
(nur in der Developer-Version)
- 68000/10/20/30 Makro-Assembler
- FPU 68881/2 und MMU-Unterstützung
- Multi-Pass-Optimierung erzeugt sehr schnellen und kompakten Programmcode.
- voll in die Projektverwaltung integrierbar

C/C++ Source Level Debugger (MaxonSDB)
(nur in der Developer-Version)
- Multi-Window-Technik
- einfache Bedienung - Drag&Drop
- Beobachten von Variableninhalten
- Haltepunkte
- direkt vom Compiler aus aufrufbar





MaxonC++ ist die erste konsequente Implementierung des C++ 3 Standards auf dem Amiga.

Das MaxonC++-Compilersystem beinhaltet sowohl einen ANSI C-, als auch einen zum AT&T 3.0-Standard kompatiblen C++-Compiler. Der Compiler erzeugt aus den C++-Quelltexten direkt ausführbare Programme ohne Umweg über C, Assembler oder andere Sprachen. Durch die volle Systemintegration werden überzeugend schnelle Turnaroundzeiten erreicht.

Die Developer-Version beinhaltet neben dem Compilersystem auch sehr hilfreiche Tools, wie einen Source-Level-Debugger, einen 68000/10/20/30-Assembler, ein Online-Hilfesystem mit der deutschsprachigen Beschreibung der Systemfunktionen und eine umfangreiche Klassenbibliothek.

Das auch in der Light-Version aufwendige und gut strukturierte deutschsprachige Handbuch ist ein kompletter ANSI-C/C++-Programmierlehrgang und auch für Einsteiger zu empfehlen.

Lauffähig auf allen Amigas mit min. 2 MB Speicher und Amiga-OS 2.0. Bei Nutzung der Klassenbibliothek werden 6 MB Speicher benötigt.

AMIGA®

4 010509 411302

MAXON Computer GmbH • Industriestr. 26
D-65760 Eschborn • Telefon 06196/481811
Irrtümer und Änderungen vorbehalten!

MAXON computer